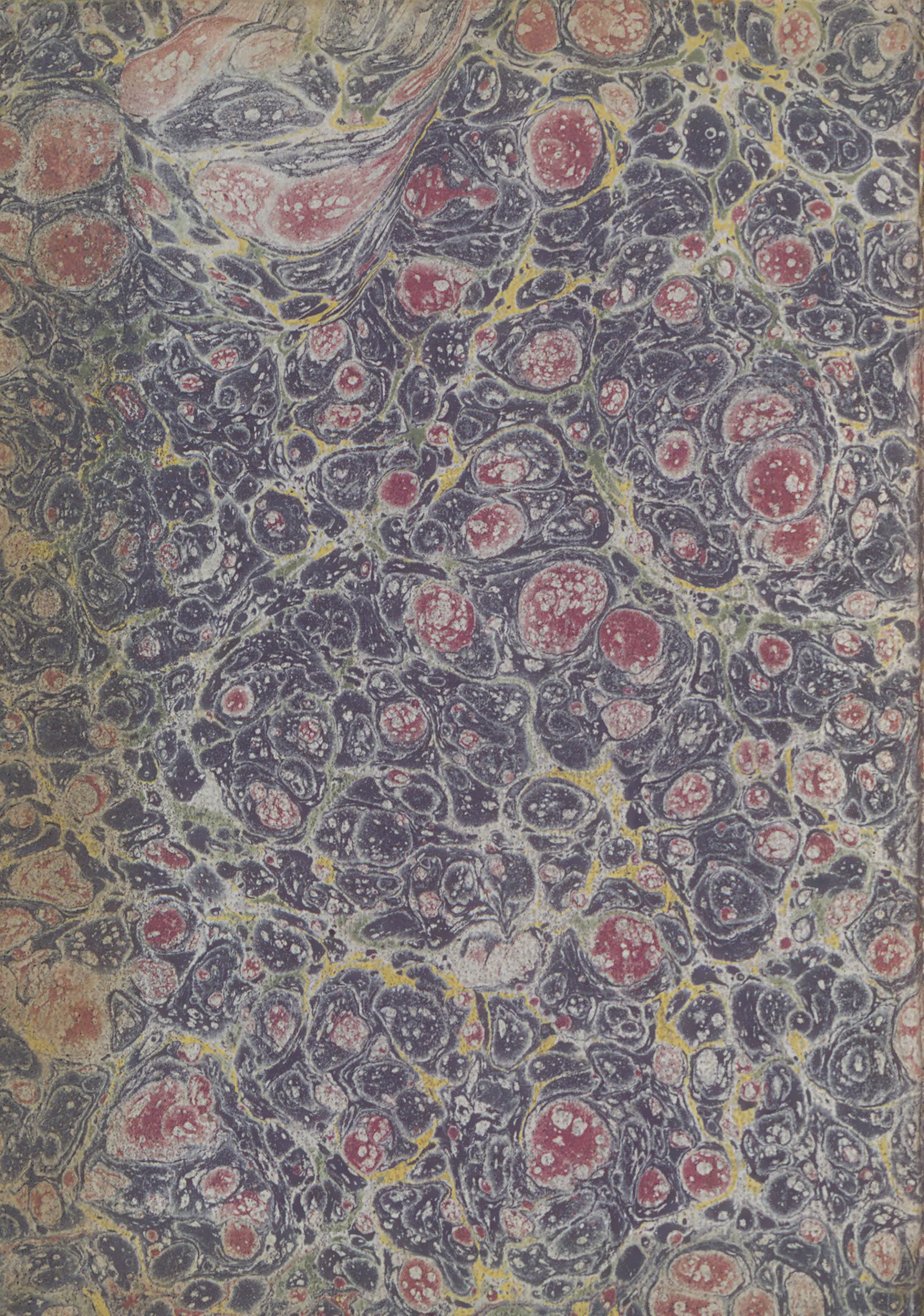
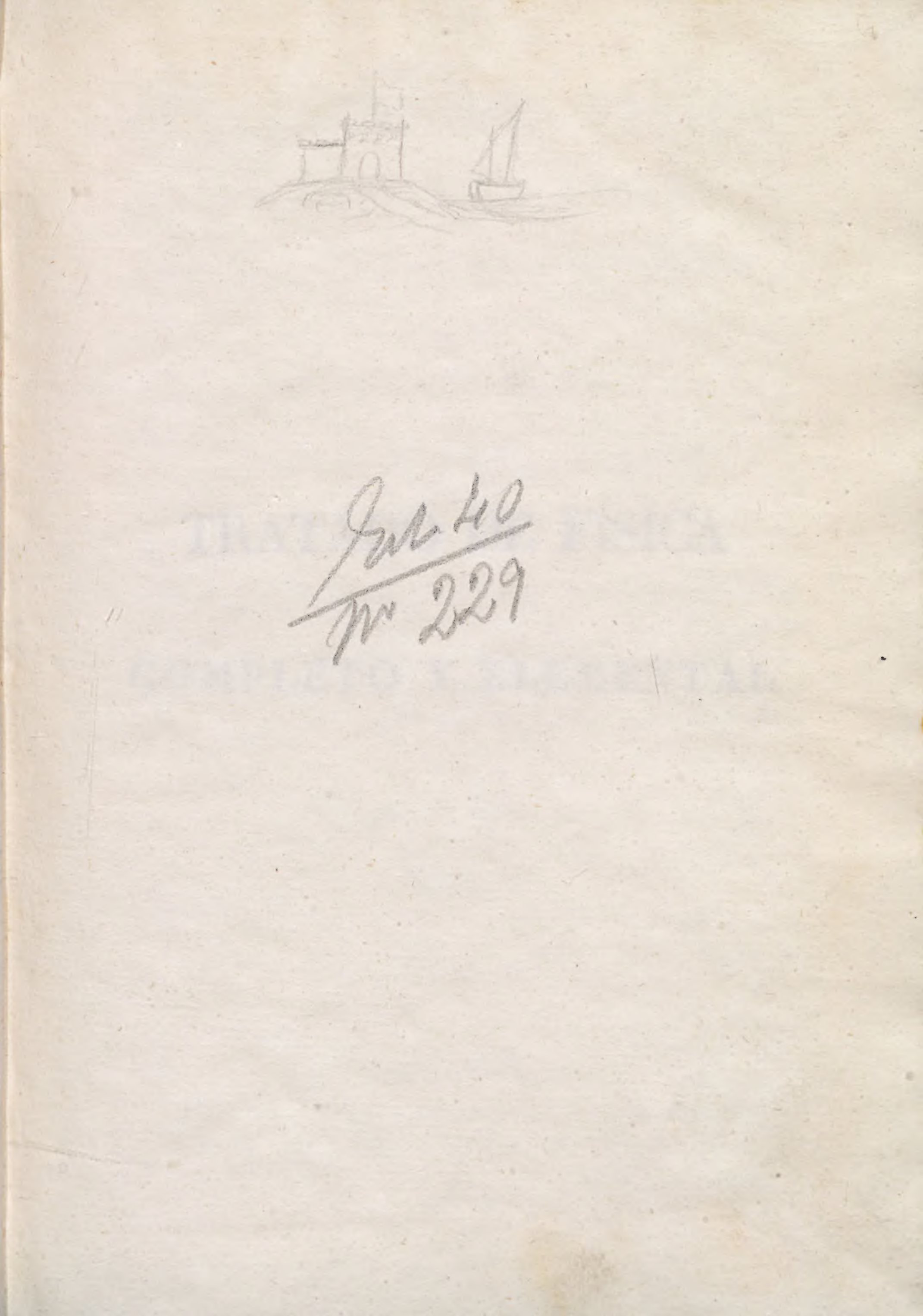







Jah 40
Nr 229

TRATADO DE FÍSICA

COMPLETO Y ELEMENTAL.

TRATADO DE FÍSICA

COMPLETO Y ELEMENTAL

PRESENTADO BAJO UN NUEVO ÓRDEN

CON LOS

DESCUBRIMIENTOS MODERNOS

POR ANTONIO LIBES.

TRADUCIDO DEL FRANCES AL ESPAÑOL

Por el Dr. en cirugia-médica, y médico D. PEDRO VIETA, catedrático perpetuo de Física de la Real Junta de Gobierno del Comercio de Cataluña, cirujano mayor del hospital militar de Barcelona, sócio de varias academias del reino y estrangeras, censor de la de ciencias naturales y artes de Barcelona, etc.

TERCERA EDICION.

TOM. III.

CON LICENCIA.

BARCELONA: EN LA IMPRENTA DE LA VIUDA É HIJOS DE DON ANTONIO BRUSI.

1828.

TRATADO DE FÍSICA
COMPLETO Y ELEMENTAL.

LIBRO UNDÉCIMO.

DE LA LUZ.

La voz *luz* generalmente se toma bajo diferentes sentidos.

1304. Unas veces significa el fluido infinitamente sutil del que el sol y las estrellas son á un tiempo el manantial y foco, que se difunde con increible actividad por la inmensidad del espacio para animar y vivificar la naturaleza, cuya accion benéfica se ejerce particularmente sobre los seres organizados, los que deben á su influjo los bellos matices de que estan adornados, y cuya ausencia nos sacaria del grande espectáculo de las maravillas del universo.

1305. Otras veces la voz *luz* se emplea para espresar la sensacion á que da origen este flúido.

1306. Importa sobre todo en el estudio elemental de las ciencias, no confundir bajo la misma denominacion un efecto con la causa que lo produce. Se empleará pues aqui la palabra *luz* para espresar la sensacion, y la claridad que la acompañan. La de fluido luminoso se consagrará á la significacion de la causa.

1307. Para estudiar las propiedades del fluido luminoso, y para determinar las leyes de su accion, es menester considerarle al principio en su estado de composicion, y bajo tres diferentes respetos: ó como llega directamente de un objeto al ojo, ó despues

de ser reflejado ó despues de haber refringido. Despues se tratará de la descomposicion de este fluido y de los fenómenos particulares á que da orígen esta descomposicion.

PARTE PRIMERA.

DEL FLUIDO LUMINOSO EN SU ESTADO DE COMPOSICION, CUANDO LLEGA DIRECTAMENTE DE UN OBJETO AL ÓRGANO DE LA VISTA.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA PROPAGACION DEL FLUIDO LUMINOSO.

1308. La propagacion del fluido luminoso, es decir, el modo como se difunde por el espacio que ilumina, está sujeta á las leyes cuya existencia sola la esperiencia puede demostrarla.

Esperimento. Ciérrese exactamente un cuarto de modo que el fluido luminoso no pueda entrar mas que por un pequeño agujero hecho en el postigo de una ventana. En este caso, si el dia es sereno, las paredes del cuarto que se suponen tersas y blancas, ofrecen á la vista del observador la imágen de todos los objetos de á fuera, puestos frente del orificio. Los objetos inmóviles se presentan inmóviles, los que estan en movimiento parecen en movimiento; pero todos estan pintados en la pared en un órden inverso. Si el sol da en el orificio, se ve que el fluido luminoso pasa en línea recta hasta la parte opuesta sin disiparse por los lados. En fin las imágenes de los objetos pintados sobre un mismo plano son tanto menores cuanto mas distantes estan los objetos del orificio.

Un instante de reflexion sobre estos fenómenos conduce á las siguientes ilaciones:

1309. 1.º El fluido luminoso se propaga siempre en línea recta. Se llama *rayo luminoso* una serie no interrumpida de átomos luminosos, que siguen todos la misma direccion.

2.º Un punto cualquiera de un objeto luminoso puede percibirse de todos los lugares á que pueda dirigirse una línea recta desde el objeto sin hallar obstáculo; porque la imágen de un objeto en movimiento es siempre visible en el cuarto obscuro mientras el objeto esté espuesto al orificio.

3.º Cada punto luminoso de un objeto arroja rayos en todos sentidos, y se constituye asi el centro de una esfera de actividad, que se estiende indefinidamente segun todas direcciones; y si se concibe que algunos de estos rayos sean interceptados por un plano, el punto luminoso es el vértice de una pirámide luminosa, cuyo sólido está formado por el conjunto de rayos, y cuya base es el plano que se opone á su paso.

4.º La imágen de la superficie de un objeto que se pinta sobre la pared, es tambien la base de una pirámide luminosa cuyo vértice está en el agujero del cuarto obscuro: los rayos que forman esta pirámide forman otra parecida y opuesta, cruzándose en el agujero que es su vértice, siendo su base la superficie del objeto.

5.º El fluido luminoso se compone de partes de una estrema tenuidad, pues que los rayos que parten en grande número de cada uno de los puntos visibles de todos los objetos espuestos al orificio del cuarto obscuro pasan por un agujero muy pequeño sin estorbarse ni confundirse.

1310. Se verá en lo sucesivo que en el acto de la vision, el ojo hace con respeto á nosotros, hechas algunas escepciones, el mismo efecto que la cámara obscura: cada punto del objeto se transmite pues al ojo por una pirámide de rayos que se separan sucesivamente, y toda imágen del objeto viene á pintarse por una infinidad de pirámides, que se cruzan en el centro de la prunela del ojo: asi es que las imágenes de los objetos que se pintan en el fondo del ojo tienen una posicion inversa. No por esto deben los objetos parecernos invertidos; porque no manifestán dose-

nos su presencia sino por la impresion que hacen en nosotros los rayos luminosos que de ellos vienen á nuestro ojo, no juzgamos su situacion sino por su impresion; esta es la razon porque los creemos siempre situados en el estremo del último rayo rectilíneo que nos transmite la imágen; ó mas bien los juzgamos situados en el estremo de la recta segun la que se dirige la reaccion que las fibras de nuestro órgano oponen á la accion de los rayos que vienen á dar en él; y de consiguiente los objetos deben parecernos en su situacion natural, aunque su imágen tenga una situacion inversa.

Aqui se presenta la interesante cuestion, á saber, si el cuerpo lúcido obra por presion ó por emision.

1311. *Descartes* partidario de la primera opinion, mira el espacio como lleno de pequeñas esferas perfectamente duras que se tocan recíprocamente. Los globulillos mas aproximados al cuerpo luminoso son comprimidos por la accion que este ejerce sobre ellos. Estos comprimen á sus inmediatos, y en un instante indivisible se imprime desde la mayor distancia la sensacion de la luz.

Esta opinion ha sido modificada por algunos físicos modernos, quienes han sustituido globulillos elásticos á los perfectamente duros, á fin de conciliar la hipótesis de *Descartes* con el fenómeno de las emersiones de los satélites de Júpiter los que, como se verá luego, demuestran que la accion del cuerpo luminoso no se propaga en un instante indivisible.

1312. Si esta hipótesis fuese verdadera, los habitantes de la tierra jamas se verian sumergidos en las tinieblas de la noche; porque por una ley bien conocida, si un fluido encerrado en un vaso es comprimido por algun lado, esta presion se comunica á todas las moléculas segun todas direcciones: de que se sigue que si el fluido luminoso estuviese esparcido por el inmenso espacio que encierra el universo desde el momento que el sol ejerciese alguna presion sobre este fluido, se transmitiria con la misma fuerza hácia todas direcciones, y de consiguiente gozariamos de la luz aun cuando el sol estuviese en los puntos de su carrera situados debajo del horizonte.

1313. Segun los físicos que adhieren á la opinion de *Newton* la luz es una verdadera emanacion de los cuerpos luminosos los que arrojan continuamente al rededor de sí rayos de su propia sustancia; estos rayos estan compuestos de partes que sucediéndose y renovándose sin cesar en el mismo medio estan por lo mismo animados de una velocidad incomprensible. Las razones que siguen son las que parecen apoyar fuertemente esta opinion.

1314. 1.º Segun las observaciones de *Roemer*, *Cassini*, y *Halley* las emersiones de los satélites de Júpiter fuera de la sombra que arroja este planeta, nos parecen suceder mucho antes despues de las conjunciones de Júpiter con el sol hasta á las oposiciones, y mas tarde despues de la oposicion de Júpiter con el sol hasta á las conjunciones; y la diferencia de los tiempos entre las emersiones vistas en las conjunciones y la oposicion es de cerca 16 minutos. Esta diferencia no puede provenir mas que de la diferencia de espacios que el fluido luminoso reflejado por los satélites ha de correr en estas diversas posiciones para llegar hasta nosotros. La diferencia de estos espacios es el diámetro de la órbita annua de la tierra. Emplean pues los rayos luminosos cerca 16 minutos para correr este diámetro, y de consiguiente 8 minutos para llegar del sol á nosotros. Estas observaciones confirman que la propagacion del fluido luminoso no es instantánea, de que resulta que se hace por emision.

1315. 2.º El sistema de la emision tiene la ventaja esclusiva de dar una esplicacion satisfactoria de la aberracion.

Este fenómeno consiste en que segun numerosas y exactas observaciones las estrellas parecen hallarse en posiciones diferentes de las que dictan las leyes del movimiento aparente; y combinando el movimiento de la tierra con el del fluido luminoso arrojado por las estrellas se ha hallado la verdadera causa de estas admirables variaciones; pues que si la tierra estuviese inmóvil, un rayo luminoso arrojado por una estrella con una velocidad finita cualquiera, al llegar á nuestro ojo sin haberse apartado de su direccion rectilínea nos presentaria la estrella en su posicion verdadera. Sucederia lo mismo si estando la tierra en movimiento, la

velocidad del fluido luminoso fuese infinita; porque la tierra estaria como en reposo con relacion á una velocidad infinitamente grande. Mas si la velocidad del fluido luminoso está en una razon finita con la de la tierra, la impresion del rayo en el ojo no se hace sentir ni en la direccion del rayo, ni en la de la tierra, sino en la de la diagonal de un paralelógramo formado sobre la direccion del rayo y la direccion del movimiento actual de la tierra, que es la de la tangente de su órbita al punto en que ella se halla en el instante en que llega el rayo á ella, y cuyos lados estan en la razon de las velocidades ó de los espacios corridos en el mismo tiempo por el rayo y por la tierra; de manera que el lugar aparente de esta estrella debe hallarse en el punto del cielo en que parece terminar esta diagonal.

1316. 3.° Vemos cada dia por un grande número de fenómenos que el fluido luminoso preside, para decirlo asi, con su presencia la separacion de los principios que entran en una combinacion, unirse con preferencia á uno de ellos, y comunicarle por su union propiedades del todo nuevas. Este juego de atracciones electivas que gobiernan al fluido luminoso parece que milita poderosamente en favor del sistema de la emanacion.

1317. Entre todas las objeciones que han servido para combatir el sistema de la emision, la que sigue es la única que parece merecer alguna atencion.

Si un rayo luminoso es un hilo no interrumpido de cuerpecillos emanados del cuerpo lúcido ¿cómo, despues de tanto tiempo que el sol ilumina el universo, puede ser que este astro no haya perdido sensiblemente parte de su sustancia?

1.° La materia luminosa que el sol arroja cada instante puede muy bien serle otra vez enviada en gran parte por la reflexion con que la rechazan los planetas.

2.° Los cometas que se hallan algunas veces cerca del sol pueden contribuir á reparar sus pérdidas por la grande cantidad de vapores y exhalaciones que esparcen.

3.° Los rayos luminosos se componen de moléculas de una tenuidad tal que una pulgada cúbica de materia luminosa basta

para iluminar el universo por mucho tiempo. Porque es fácil demostrar que dada la mas pequeña porcion de materia que se quiera, puede dividirse en partes tan sútiles que llenarán un espacio dado, conservando entre sí intervalos menores que $\frac{1}{10000000}$ de línea; de que resulta que una porcion de materia luminosa tan pequeña como se quiera, es suficiente para llenar durante siglos, un espacio igual á la órbita de Saturno.

CAPÍTULO II.

DE LA DISMINUCION QUE ESPERIMENTA LA ACCION DEL FLUIDO LUMINOSO MIENTRAS SE PROPAGA.

1318. Llámase medio un espacio cualquiera, al que atraviesan los rayos luminosos. Si este espacio es absolutamente vacío ó lleno de una materia que no oponga obstáculo á su movimiento, se llama *medio libre*: el medio es diáfano cuando el espacio está lleno de una materia que ofrece paso mas ó menos fácil al fluido luminoso.

1319. Los rayos que concurren en un punto ó que concurririan si se prolongaran, se llaman *convergentes*, y los mas convergentes son los que forman el mayor ángulo.

1320. Los rayos que parten de un punto ó que se mueven como si salieran de él se llaman *divergentes*. Estos rayos se dispersan siempre mas y mas.

1321. La accion del fluido luminoso no sufriria variacion alguna si se propagara por un medio libre y en direcciones paralelas; porque esta accion no puede debilitarse sino haciéndose los rayos mas raros en el mismo espacio, ó que su velocidad disminuya, lo que jamas sucederia si el fluido luminoso se propagara por un medio libre y en direcciones paralelas.

1322. En un medio libre la intensidad de la accion del fluido luminoso que se propaga por rayos convergentes ó divergentes, sigue la razon inversa del cuadrado de la distancia al cuerpo lúcido.

Este cuerpo puede ser mirado como el centro de una esfera

luminosa que se estiende indefinidamente por el espacio, y esta esfera como un conjunto de conos cuyos vértices se reunen en un centro: de que resulta que en un medio libre un mismo número de rayos atraviesa sucesivamente diferentes secciones del mismo cono, hechas paralelas á la base; y de consiguiente que la intensidad de la accion de los rayos de luz sigue la razon inversa de la magnitud de estas secciones; y como las magnitudes de estas secciones son entre sí como los cuadrados de sus distancias respectivas al cuerpo lúcido, se sigue que en un medio libre la disminucion de la intensidad de la luz sigue la razon inversa del cuadrado de la distancia al cuerpo luminoso.

De aqui se sigue que con razon á la sola divergencia de los rayos de luz, la intensidad de su accion disminuye segun esta progresion 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, etc.

1323. Si no se atiende mas que á la densidad de un medio diáfano, pero homogéneo, al que haya de atravesar el fluido luminoso, la intensidad de su accion disminuye segun una progresion geométrica.

Supongamos este medio dividido en diferentes capas de un mismo espesor y densidad; espresese por $\frac{1}{n}$ el número de partes sólidas que en cada capa resisten invenciblemente al paso del fluido luminoso. Es evidente que si un hacecillo de rayos representado por 1 cae sobre este medio, el número de rayos interceptados por la primera capa será $\frac{1}{n}$: por lo que el número de rayos que dejará pasar esta primera capa será $1-\frac{1}{n}$ ó $\frac{n-1}{n}$. La segunda capa se ha supuesto de la misma densidad y espesor que la primera: por lo que el número de rayos interceptados por esta capa es respectivamente igual al número de rayos interceptados por la primera, y debe de consiguiente ser espresado por $\frac{n-1}{nn}$. Luego el número de rayos á que da paso la segunda capa, será $\frac{n-1}{n}-\frac{n+1}{nn}=\frac{(n-1)^2}{nn}$. Del mismo modo se hallará que el nú-

mero de rayos que dejará pasar libremente la tercera capa se espresará por $\frac{(n-1)^3}{n^3}$, y asi de las demas. Luego si no se mira mas que la densidad de un medio diáfano, pero homogéneo, al que deba atravesar el fluido luminoso, su intensidad disminuye segun esta progresion geométrica $\frac{n-1}{n}$, $\frac{(n-1)^2}{n^2}$, $\frac{(n-1)^3}{n^3}$, etc.

De lo que se acaba de decir es fácil deducir la siguiente consecuencia: en un medio diáfano, pero homogéneo, la accion del fluido luminoso, cuyos rayos divergen al salir del punto luminoso tomado en el medio, disminuye segun esta serie $\frac{n-1}{n}$, $\frac{(n-1)^2}{4n^2}$, $\frac{(n-1)^3}{9n^3}$, $\frac{(n-1)^4}{16n^4}$ etc.

CAPÍTULO III.

DE LAS SOMBRAS.

1324. Un cuerpo opaco, iluminado en parte, arroja una sombra terminada por líneas rectas, lo que es efecto de la propagacion del lumínico en línea recta y de que los rayos que rozan con las estremidades del cuerpo terminan la sombra que queda detras del cuerpo.

1325. La sombra arrojada por un cuerpo opaco es tanto mas densa y obscura cuanto mayor es la intensidad de la accion del cuerpo luminoso; porque la claridad que esparce el fluido luminoso forma mayor contraste con la sombra inmediata.

1326. La sombra formada por la interposicion de un cuerpo opaco en un medio iluminado, y recibida sobre un plano es siempre terminada por una penumbra tanto mas estendida cuanto el cuerpo luminoso tenga mayor diámetro, cuanto el cuerpo opaco esté mas lejos del plano que recibe su sombra, y esta sombra sea recibida mas oblicuamente por el plano.

Sea AB el sol (fig. 110), ED un objeto colocado sobre el plano DI; tírense los rayos BF, CG, AH; es claro que todo el sol

es visible para el espectador que avanza de I hácia H. Una vez ha llegado á este punto, empieza á no ser iluminado por el borde inferior A del sol: á medida que adelanta ve sucesivamente una porcion menor del disco solar. En G no ve mas que la mitad superior de este astro, en F deja de verlo, y entra en la pura sombra FD; de que resulta, 1.° que ve tanto menos claro cuanto mas se aproxima á la verdadera sombra, de modo que el espacio HF está cubierto de una penumbra mas fuerte cuanto mas cerca está de la sombra pura que empieza en F; 2.° en el triángulo FEH, el lado FH que mide la penumbra aumenta, 1.° cuando el ángulo opuesto FEH que mide el diámetro aparente del objeto luminoso, aumenta; 2.° cuando la distancia ED de la estremidad E del cuerpo al plano DI que recibe la sombra es mayor; 3.° cuando las rectas EH, EF son mas oblicuas.

Esta es la causa porque el término de la sombra de los cuerpos iluminados por el sol es siempre confuso, sobre todo cuando la sombra está lejos del cuerpo que la causa; y pues que el diámetro del sol es visible bajo un ángulo de cerca 32 minutos, es claro que la magnitud FH de la penumbra de un objeto es á la distancia de la estremidad E del objeto al principio F de su sombra pura, como el seno de 32 minutos es al seno del ángulo EHD de la altura aparente del borde inferior del sol encima del plano DI, que recibe la sombra. Lo que se dice del sol debe entenderse de la luna y generalmente de todo cuerpo luminoso que tenga un diámetro sensible.

1327. Si un cuerpo luminoso es de figura esférica, y tambien el cuerpo opaco al que ilumina, aquel iluminará una parte tanto menor y empleará una parte de su superficie tanto mayor cuanto mas pequeño sea. Al contrario sucederá si es mayor. Si son los dos del mismo diámetro, la mitad de la superficie del cuerpo lúcido iluminará la mitad de la superficie del cuerpo opaco.

Sea el globo luminoso B (fig. 111) que ilumina al globo C de mayor diámetro. Es evidente que la parte del globo C que está iluminada, está determinada por los últimos rayos que puedan llegar á ella, y por consiguiente por los rayos que le tocan.

De la misma manera los últimos rayos del globo B que puedan iluminar al globo C no pueden ser mas que rayos tangentes; de que se sigue que las tangentes LP, KO determinan los últimos puntos que iluminan L, K, y los últimos iluminados P, O. Tírense sobre la recta BC los diámetros perpendiculares HI, MN, los que dividirán en dos partes iguales las circunferencias de los globos B, C: y si de los mismos puntos B, C se tiran sobre las tangentes las perpendiculares BL, BK, CP, CO, estas determinarán los puntos de contacto; de que se sigue que el arco LRK mayor que la semicircunferencia, representará la parte que ilumina, y el arco PSO, menor que la semicircunferencia, representará la parte iluminada. Si al contrario C es el cuerpo luminoso, y B el cuerpo opaco, el arco PSO representará su parte que ilumina, y el arco LRK la parte iluminada. En fin si los globos son iguales, las tangentes son paralelas, pasan por las estremidades de los diámetros HI, MN; y de consiguiente el arco que ilumina y el iluminado son cada uno iguales á la mitad de la circunferencia.

1328. Síguese de aqui, 1.º que con motivo de los triángulos rectángulos LBH, PMC, KBI, OCN, los arcos LH, PM, KI, ON son de un mismo número de grados; y que por consiguiente el arco de un globo que mide la latitud de la parte que ilumina, es lo que falta al arco que mide la latitud de la parte iluminada del otro globo, para valer la circunferencia entera.

1329. 2.º Por la misma razon el arco oscuro de la esfera iluminada es de tantos grados como el arco del globo luminoso que ilumina, y el arco iluminado es del mismo número de grados que la parte del otro que no ilumina.

1330. 3.º Es fácil ver que con motivo de los triángulos rectángulos semejantes ABL, BLH, el ángulo BAL = LBH: de que se sigue que el esceso del arco iluminado sobre el arco oscuro, ó la diferencia entre la parte que ilumina, y la iluminada es medida por el ángulo LAK de los rayos tangentes.

1331. 4.º Una esfera ilumina la mitad de otra que le sea igual, sea cual fuere la distancia á que esten; pero un globo que

ilumina á otro mas pequeño, ilumina una parte tanto mayor cuanto mas cerca esté de él, y reciprocamente; porque cuanto mas vecinos esten los globos, el ángulo PAO de las tangentes será mayor, y de consiguiente la parte iluminada escederá tanto mas á la oscura: de aqui procede que no se puede ver con un solo ojo la mitad de un globo cuyo diámetro sea mayor que la abertura de la prunela. El sol ilumina mas de la mitad de cada uno de los planetas. La luna en conjuncion con el sol ilumina menos de la mitad del globo de la tierra.

1332. 5.° La sombra que arroja un globo iluminado por un globo que le sea igual, es cilindrica, é infinita, porque está terminada por rayos paralelos, que rodean una circunferencia de circulo.

1333. 6.° La sombra de una esfera iluminada por otra mayor es un cono finito como KAL.

1334. 7.° La sombra QPOV de un globo C iluminado por otro mas pequeño B se estiende al infinito en un cono truncado.

1335. 8.° Es fácil determinar la longitud del eje BA del cono de sombra del globo mas pequeño, dados los semidiámetros BK, CO, y la distancia BC de los centros de los dos globos, porque si se tira KD paralela á BC, con motivo de las paralelas BK, CO, se tiene BK = CD, y BC = KD; pero los triángulos KDO, ACO son semejantes: luego DO:OC::DK:CA; ó CO—BK:CO::CB:CA. Sustrayendo CB de CA, queda BA que se busca. Si se supone que B representa la tierra y C el sol, BK = 1, CO = 80,5 y B = 17189, se halla que BA = 216 radios terrestres.

CAPÍTULO IV.

DE LAS DIFERENTES APARIENCIAS DE LOS OBJETOS.

1336. Las apariencias de que se trata aqui se refieren principalmente á la magnitud, la figura, la confusion, la oscuridad, el número y el movimiento de los objetos: se hablará separadamente de cada una de estas circunstancias.

PÁRRAFO PRIMERO.

De la magnitud aparente de los objetos.

1337. Se llama *ángulo óptico* el que es formado por los rayos que saliendo de las estremidades de un objeto vienen á reunirse en la prunela del ojo.

1338. En las grandes distancias juzgamos de la magnitud de los objetos por la magnitud del ángulo óptico.

No podemos juzgar de la magnitud de un objeto sino por la de la imágen que se forma en la retina; y la magnitud de la imágen es sensiblemente como la del ángulo óptico: porque la imágen es la base del ángulo interior que tiene su vértice en la prunela, y como esta base aumenta sensiblemente cuando el ángulo es mayor, se sigue que aumentando el ángulo óptico aumenta la imágen, y de consiguiente que juzgamos de la magnitud de los objetos por la del ángulo óptico.

1339. No sucede asi en las pequeñas distancias. Un objeto visto á la distancia de cuatro pasos nos parece de la misma magnitud que á una distancia doble; al paso que en estas dos posiciones los ángulos ópticos estan en la razon de 2 á 1. La habitud que hemos contraido de ver los objetos á pequeñas distancias es la que nos ha hecho adquirir un conocimiento exacto de sus verdaderas dimensiones; y nos aparta del error á que nos conduciria la diferente magnitud de las imágenes. Esto es tan cierto, como que si vemos un hombre delante de nosotros á la distancia de 40 pasos no nos parece de una pequeñez tal como nos pareceria si estando bajo de una torre de igual altura le viésemos en la cima. Esto depende sin duda de que no estando habituados en el comercio de la vida á mirar los objetos de abajo arriba, y no hallándonos en estado de conocer por la esperiencia esta suerte de distancias, no juzgamos como en los casos ordinarios; y entonces determinamos la relacion de magnitudes de los objetos principalmente por la de las imágenes que forman en la retina.

1340. Los objetos situados de la misma manera parecen dis-

minuir de magnitud á medida que se alejan de nosotros; porque las dimensiones de estos objetos son bases constantes de un triángulo cuyos lados son las distancias de sus dos estremidades al ojo. Aumentándose estos lados á medida que el objeto se aleja, los ángulos opuestos aumentan tambien, y de consiguiente el ángulo formado en la prunela, opuesto al lado constante debe siempre disminuir, y formar en el ojo imágenes que disminuyen proporcionalmente.

1341. Síguese de aqui, 1.° que cuando los ángulos ópticos son muy pequeños, las magnitudes aparentes de los objetos estan en razon inversa de sus distancias al ojo; porque cuando los ángulos son muy pequeños, los lados miden las distancias.

1342. 2.° Partes iguales de un objeto muy grande y muy distante de nosotros no parecen iguales; porque las partes mas distantes de nosotros deben formar ángulos ópticos muy pequeños y recíprocamente.

1343. 3.° Puede suceder que de dos partes la mas pequeña de un objeto parezca la mayor, si está situada de manera que forme un ángulo óptico mayor.

1344. Dos ó muchas líneas paralelas á una grande distancia deben parecer que concurren y que forman un ángulo en sus estremidades, porque las distancias de sus puntos correspondientes son iguales: de que resulta que las líneas que miden estas distancias sostienen ángulos ópticos que disminuyen hasta llegar á ser insensibles, cuando estan vistas de distancias muy considerables.

1345. De aqui se ve, 1.° porque en una larga galería el techo parece ser sucesivamente mas bajo, y el pavimento mas alto, pues que se compara siempre uno y otro con la línea de nivel que pasando por la prunela del ojo se halla encima del nivel del pavimento, y debajo del nivel del techo.

1346. 2.° La mar parece elevarse tanto mas cuanto mas se aleja de la ribera, y cuanto mas alto esté el espectador, porque se compará su superficie horizontal con la línea de nivel que pasa por la prunela al ojo. Estos dos niveles siendo paralelos parecen aproximarse tanto mas cuanta mayor estension se vea de mar, y

esta estension es tanto mas considerable cuanto mas elevado sea el lugar en que se halla el espectador.

1347. 3.º Una torre muy elevada parece inclinada sobre el que desde el pie contemple su cumbre; porque si la torre tiene una situacion perpendicular al horizonte, el observador la compara á la vertical que pasa por su ojo. Estas dos verticales son dos paralelas que parece tienden á concurrir; y de consiguiente la torre parece inclinarse por su estremidad de modo que amenace una próxima ruina.

1348. 4.º Si se camina con direccion paralela á una larga calle, las partes que estan en la derecha parecen aproximarse de mas en mas á la izquierda.

1349. 5.º Si uno se coloca entre dos filas de árboles, parecen estos apartarse mutuamente á medida que uno se aproxima á ellos, etc.

§ II.

De la figura aparente de los objetos.

1350. Es evidente que la figura aparente de un objeto es determinada por la situacion de los puntos de este objeto, que pueden enviar rayos al ojo del espectador.

1351. Síguese de aqui, 1.º que una línea recta que pasase por el centro de la prunela perpendicularmente á la superficie del ojo, si se prolongase no pareceria sino como un punto; porque no hay sino el punto de su estremidad mas vecina del ojo que le pueda enviar rayos luminosos.

1352. 2.º Un plano situado de modo que el eje del ojo prolongado se confundiese con él no pareceria sino como una línea; porque en este caso no hay mas que la línea que forma el contorno del plano espuesto á la vista, que pueda enviar rayos al ojo del espectador.

1353. 3.º Un sólido que no presente al ojo mas que una de sus caras parece una simple superficie.

1354. Una línea de una longitud considerable y muy lejana,

regular ó irregular, presenta al espectador situado en su plano el aspecto de un arco de círculo cuyo centro él ocupa.

1355. Sea la curva irregular G, F, A, E (fig. 112). Por la suposicion, sus puntos G, F, A, B, C, D, E estan en el plano del ojo situado en O. Ademas estos puntos estan muy lejos del ojo; por lo que la diferencia PD que hay entre OP y OD debe desvanecerse con relacion al espectador, y de consiguiente las líneas OP, OD se le presentan como radios de un mismo círculo. Sucede lo mismo con las demas, y de aqui procede que el espectador cree ocupar el centro de un círculo, y ver todos sus puntos en la circunferencia.

1356. Síguese de aqui que una pequeña línea irregular vista de lejos debe parecer una linea recta; porque debe parecer como un arco de un corto número de grados.

De aqui proviene, 1.° que un observador situado en una vasta llanura terminada irregularmente cree siempre hallarse en el centro de un círculo; los objetos elevados y lejanos parecen estar todos en la circunferencia; 2.° que el cielo parezca una esfera hueca en cuyo eje está situado nuestro ojo, y todos los astros puestos en su circunferencia; 3.° que las grandes ciudades y las selvas parezcan terminadas en anfiteatro cuando se miran de lejos; 4.° que una esfera muy lejana no se nos presente sino como una superficie plana y circular; 5.° que un poliedro de muchas superficies se nos presente como un globo visto de una mediana distancia, y visto de lejos como un círculo; 6.° que una torre cuadrada parezca redonda, si el espectador está situado á una grande distancia.

1357. Un polígono regular debe parecer regular al espectador situado en el eje del polígono. Porque supuesto que el polígono es regular, todos sus ángulos son iguales como tambien sus lados. Por estar el espectador situado en el eje todos los ángulos y todos los lados del polígono estan igualmente distantes del ojo; por lo que los lados del polígono deben parecer iguales, y situados todos de la misma manera.

1358. Si el espectador se halla fuera del eje del polígono re-

gular, los lados del polígono no distan igualmente del ojo: lados por consiguiente iguales son vistos bajo ángulos desiguales, por lo que deben parecer desiguales. De esto depende que un polígono regular visto oblicuamente parece prolongado, y que un círculo presenta una figura elíptica.

§ III.

De la oscuridad y de la confusion aparente de los objetos.

1359. Los objetos espuestos á nuestra vista parecen tanto mas oscuros y confusos cuanto mas lejos estan, y se presentan con colores tanto mas vivos y distintos cuanto mas cercanos estan de los ojos.

Para esplicar este fenómeno importa notar que la vision distinta y la vivacidad de los colores dependen de la intensidad de la accion del fluido luminoso, y que á medida que el objeto se aleja, esta intensidad disminuye por la interposicion del fluido atmosférico entre el objeto, y el espectador: de esto depende que los objetos un poco elevados tales como los que estan situados en la cima de altas montañas, se ven mucho mas distintamente que los que estan en la llanura, porque el aire es tanto menos denso y libre de vapores, cuanto las capas atmosféricas esten mas distantes de la superficie de la tierra.

1360. Los objetos que se presentan oscuros y confusos parecen estar mas lejos. Esto resulta de que no estando acostumbrados á ver confusamente sino objetos lejanos, juzgamos que estan lejos los que vemos confusamente.

1361. Si un objeto de una magnitud conocida, y colocado fuera del término ordinario de nuestra vista se pone mas oscuro y confuso, juzgamos inmediatamente que está tambien mas lejos; porque como ha quedado en la misma distancia, y forma por consiguiente en nuestro ojo una imágen que no se ha minorado, juzgamos que su volúmen se ha aumentado.

1362. Por este conocimiento se esplica, 1.º porque el cielo nos parece como una bóveda rebajada. Porque la luz que espar-

cen los astros siendo tanto mas débil cuanto mas cercanos estan del horizonte, parecen tanto mas lejos cuanto menos elevados estan sobre el horizonte, el diámetro vertical del cielo se disminuye al paso que el diámetro horizontal se prolonga, lo que hace que el cielo se nos presente como una bóveda rebajada.

1363. 2.° El sol nos parece mayor en el horizonte que en el zenit, porque en el horizonte brilla con una luz menos viva que en el zenit: de repente le juzgamos mas lejos; pero como su distancia es la misma le juzgamos de mayor volúmen.

1364. 3.° Las sombras de las cosas de noche parecen mayores, y mas lejanas de lo que realmente son.

1365. Los objetos parecen tanto mayores y mas lejanos cuanto mayor es su número, y hay mayor estension de terreno entre el ojo y estos objetos: porque este grande número de objetos intermediarios produce la idea de una grande distancia, y de consiguiente de una mayor magnitud.

1366. De aqui proviene, 1.° que el horizonte y el cielo parecen tocarse; 2.° que cuando no se ve un grande valle que esté en medio de una llanura; los objetos que se hallan en la otra parte del valle parecen estar muy cerca de nosotros, y no conocemos su grande distancia sino cuando estamos en el borde del valle; 3.° que por la tarde los objetos un poco elevados, y bien espuestos á nuestra vista parecen muy grandes y muy lejanos; porque privando la noche el juzgar de su distancia, por la estension de terreno comprendido entre ellos y el ojo, creemos estar estos objetos en el horizonte, y de consiguiente muy grandes y muy lejanos.

§ IV.

Del nũmero aparente de los objetos.

1367. Fórmase en el fondo de cada ojo una imágen del objeto, de quê se sigue que las imágenes son siempre dobles, aunque comunmente los objetos nos parecen simples. Esto sucede cuando mirando un objeto con los dos ojos, los dos ejes de la vision, es

decir las dos rectas, que caen perpendicularmente sobre la órbita del ojo, y que pasan por el centro de la prunela, son sensiblemente paralelas. Porque en este caso las dos impresiones se hacen sobre fibras homólogas, é igualmente tendidas; lo que hace que estas dos impresiones se confundan y ocasionen una sola sensacion.

1368. Cuando, al contrario, los ejes de la vision no son sensiblemente paralelos, los objetos nos parecen dobles, porque no haciéndose las impresiones sobre fibras homólogas resultan dos sensaciones distintas.

Con esto se esplica el porque cuando se aproxima un objeto demasiado á los ojos, parece doble, y cuando se mueve un ojo sin mover el otro el objeto que se mira parece tambien doble.

En el primer caso es menester para mirar el objeto, mover la prunela en sentido contrario, y el movimiento que se le imprime, destruyendo el paralelismo de los ejes de la vision, hace parecer doble el objeto.

En el segundo caso la razon es manifiesta; mirando el objeto con ambos ojos, los ejes de la vision son sensiblemente paralelos: si se mueve un ojo muda su eje de posicion, lo que destruye el paralelismo.

Los borrachos ven á menudo los objetos dobles; porque todas sus fibras estan de tal modo relajadas que no pueden tener sus ojos dirigidos del mismo modo sobre un objeto. En una fuerte afeccion de espíritu, como en un exceso de cólera, se ven algunas veces los objetos dobles; porque no queda á veces á nuestro arbitrio el volver los ojos como se quiere.

§ V.

Del movimiento aparente de los objetos.

1369. El objeto no siempre se refiere al punto en que se halla, y el espectador se cree á menudo en un lugar diferente del que realmente ocupa. Se llama *lugar imaginario del ojo* aquel en que el observador se cree en reposo, aunque esté animado de

diferentes movimientos. Se llama *órbita óptica del objeto* la curva que representa su camino aparente.

1370. Si muchos objetos, colocados á diferentes distancias del ojo se mueven segun direcciones paralelas con la misma velocidad, parecerán moverse con velocidades diferentes.

Porque, puesto que estos objetos se mueven con velocidades iguales, los espacios que corren son iguales; y como se mueven á diferentes distancias en direcciones paralelas, estos espacios iguales son vistos bajo ángulos diferentes; de que se sigue que deben parecer desiguales, y por lo mismo estos objetos deben parecer animados de velocidades diferentes. El mas lejano parecerá moverse con menor velocidad, y el mas inmediato mas velozmente.

1371. Un objeto movido con una velocidad cualquiera parecerá inmóvil, si en cada segundo de tiempo corre un espacio que no haga en el ojo mas que un ángulo de 15 á 20 segundos.

En esto está el porque los astros no parecen tener movimiento alguno sensible á nuestra vista, al paso que algunos de ellos corren en un segundo de tiempo espacios que forman en el ojo ángulos de 15 segundos.

1372. Depende tambien de la misma causa el que no se conozca en un reloj de faltriquera el movimiento de la aguja no solo de las horas pero ni del minutero.

1373. Por una razon opuesta cuando un objeto se mueve con una velocidad estrema se hace invisible; porque no queda bastante tiempo en cada punto de su camino para que puedan fijarse en él los ojos y percibirle.

1374. Si el ojo está en movimiento y el objeto en reposo, las apariencias son las mismas que si el ojo estuviese en reposo, y el objeto en movimiento.

Esto estriba en que las apariencias relativas al movimiento de los objetos dependen del movimiento de la imágen que se forma en la retina; y el movimiento de la imágen es evidentemente el mismo, sea que el ojo esté en movimiento y el objeto en reposo, ó bien sea al reves.

1375. Esta es la razon, 1.° porque un hombre llevado por

un navío en movimiento se imagina estar siempre en un mismo lugar, pareciéndole que los objetos puestos en la ribera se mueven en sentido contrario.

1376. 2.º Por semejante ilusion el sol y todos los astros nos parecen girar al rededor de la tierra en el intervalo de 24 horas.

1377. Las rectas tiradas de los puntos de la direccion real del objeto á los puntos en que el ojo del espectador se halla realmente en los mismos instantes, son iguales y paralelas á las líneas homólogas tiradas del lugar imaginario del ojo á los lugares ópticos del objeto.

Sean A, B, C, (fig. 113) diferentes puntos del camino real del objeto, y *a*, *b*, *c*, los puntos del camino real del ojo, corridos en los mismos instantes, al paso que el lugar imaginario del ojo es en S. Si se tira *e*S igual y paralela á A*a*, *f*S igual y paralela á B*b*, *d*S igual y paralela á C*c*, los puntos *e*, *f*, *d*, forman el camino óptico del objeto.

Porque todos los puntos de la órbita óptica del objeto deben estar situados con relacion al lugar imaginario del ojo, del mismo modo que los puntos homólogos de la órbita real del objeto con relacion á los puntos correspondientes de la órbita real del ojo: si no fuese asi la ilusion óptica seria nula. De que resulta que las rectas tiradas de los puntos del paso real del objeto á los puntos en que el ojo del espectador se halla realmente en los mismos instantes son iguales y paralelas etc.

1378. Síguese de aquí, 1.º que los lugares verdadero é imaginario del ojo, el lugar verdadero y aparente del objeto, forman siempre un paralelógramo. El lugar verdadero del objeto y el imaginario del ojo estan siempre en las estremidades de una diagonal. El lugar óptico del objeto y el verdadero del ojo estan siempre en las estremidades de otra diagonal.

2.º Si hallándose el lugar imaginario del ojo en S (fig. 114) su camino real es *a*, *b*, *c*, y el objeto está inmóvil en A, su camino aparente es una línea *h*, *g*, *f*, igual al camino real del ojo, y situado en un plano paralelo.

Porque con motivo de los paralelógramos *ah*, *bg*, *cf*, de que

SA es una diagonal comun, y al mismo tiempo una interseccion comun de sus planos, y cuyas bases *Sa*, *Sb*, *Sc* estan situadas sobre un mismo plano, que es el del camino del ojo, sus paralelas é iguales A*h*, A*g*, A*f* deben estar tambien en un mismo plano de la marcha del ojo del espectador, y formar los ángulos *h*A*g*, *g*A*f* iguales á los ángulos *aSb*, *bSc*: luego los puntos *h*, *g*, *f* deben estar en una línea igual á la línea *abc*, y en un plano paralelo, pero en una situacion inversa; es decir que si el objeto se halla colocado en el plano del camino del ojo, el camino aparente del objeto se halla tambien en este plano.

3.° Si el objeto está sin movimiento y colocado en el lugar en que el espectador se cree en reposo, parece en la estremidad de una línea igual, y situada en la direccion que la línea tirada desde el lugar verdadero del ojo á su lugar imaginario. Si el ojo se mueve en un círculo en que el objeto ocupe el centro, y en que el espectador cree estar en reposo, el lugar óptico del objeto, y el lugar real del ojo, se hallan siempre en las estremidades del mismo diámetro; y como las estremidades del mismo diámetro se mueven siempre en el mismo sentido, el objeto parece describir el mismo círculo que el ojo describe realmente y siguiendo la misma direccion. Asi es que el sol nos parece moverse de occidente á oriente en la eclíptica, porque el espectador terrestre que describe realmente este círculo se cree inmóvil en el centro que está realmente ocupado por el sol.

LIBRO UNDÉCIMO.

PARTE SEGUNDA.

DEL FLUIDO LUMINOSO, EN SU ESTADO DE COMPOSICION, CUANDO LLEGA AL OJO DESPUES DE HABER SIDO REFLEJADO.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA REFLEXION DEL FLUIDO LUMINOSO Y DE LAS LEYES GENERALES Á QUE ESTÁ SUJETO.

1379. Todos los cuerpos opacos que son visibles tienen la propiedad de reflejar al fluido luminoso. Cuando su superficie es áspera lo reflejan por todos sus puntos segun todas direcciones, es decir irregularmente; pero si puliendo estos cuerpos por medio de la frotacion se hacen desaparecer las desigualdades sensibles de las superficies, la reflexion se hace en todos sus puntos hácia una misma parte, es decir de un modo regular.

1380. Sea un rayo de luz AC (fig. 115) que dé oblicuamente en la superficie plana DE. Sea CO la perpendicular sobre esta superficie y el rayo reflejo CB.

1381. El rayo AC se llama *rayo de incidencia*, y el rayo CB se llama *rayo de reflexion*.

1382. El ángulo ACO es el ángulo de incidencia, y el ángulo OCB es el de reflexion: estos dos ángulos son siempre iguales; porque si se hace caer por un pequeño orificio un rayo solar sobre un espejo encerrado en un cuarto oscuro, se ve que refle-

ja, y que produce un ángulo de reflexion igual al ángulo de incidencia.

Resulta de esta ley demostrada por la esperiencia que el fluido luminoso se aleja de un cuerpo despues de haberle chocado, con una fuerza igual á la que tenia antes del choque. Descompongamos la fuerza representada por AC en otras dos AO y OC, suponiendo AO paralela, y OC perpendicular al plano reflectente. Prolonguemos AO. La fuerza que tiene esta direccion no sufre pérdida alguna por la accion del plano: sean por consiguiente iguales AO y OB; si el fluido luminoso se aleja del plano con la misma velocidad con que ha llegado, la fuerza que da origen á la reflexion está representada por CO, y en este caso el rayo reflejado pasa por B, es decir el ángulo OCB es igual al ángulo OCA, lo que es conforme á la esperiencia.

1383. Cada punto del espejo refleja los rayos que caen sobre el de todas las partes del objeto; y como los diferentes rayos que salen de un objeto luminoso no pueden reflejarse desde el mismo lugar de un espejo hácia el mismo punto, síguese que los rayos viniendo de diversos puntos de un objeto se separan despues de la reflexion, y señala cada uno el punto de donde ha salido. De aqui es sin duda que los rayos reflejados por los espejos, representan la imágen de los objetos que se colocan frente de ellos: por lo mismo la imágen de los objetos no se representa sobre los cuerpos, cuya superficie no está pulimentada, por cuanto reflejan el fluido luminoso, de modo que confunden los rayos por sus eminencias y sus cavidades.

1384. Si el ojo y el punto luminoso mudan mútuamente de sitio, el rayo reflejará hácia el ojo, tomando el mismo camino que antes; porque el rayo que era reflejo, se hace rayo incidente; puesto que debe reflejar bajo un ángulo igual al de su caida, el que antes era rayo incidente se hará rayo reflejo.

1385. El plano de reflexion, es decir el plano en que se hallan los rayos incidentes y reflejos, es perpendicular á la superficie del espejo; y en los espejos esféricos pasa por el centro. Para convencerse de la existencia de esta ley basta notar que la refle-

xion debe hacerse en el plano en que cae la línea perpendicular al mismo, por hallarse en la direccion de esta línea el punto en que el rayo es rechazado por el espejo.

Estas leyes generales sufren modificaciones que dependen de la figura de los espejos que reflejan, cuyas modificaciones se apreciarán en los capítulos que siguen.

CAPÍTULO II.

DE LOS ESPEJOS PLANOS.

1386. Llámase *espejo* un cuerpo cualquiera cuya superficie es tersa y pulida de modo que refleja regularmente al fluido luminoso. Si la superficie es plana, el espejo toma el nombre de *espejo plano.* Estos se construyen comunmente de metal ó de vidrio azogado. Los espejos de cristal se emplean con mas frecuencia, porque son de un pulido mas fino y mas duradero; pero se verá que dan casi siempre dos imágenes del mismo objeto; esta es la razon porque se prefieren los espejos metálicos en la construccion de telescopios, y en general de todos los instrumentos en que se necesita mucha precision.

1387. El punto de donde salen los rayos sea que el cuerpo brille con luz propia, sea que solo la refleje, se llama *punto luminoso.*

1388. El punto de concurso de los rayos convergentes se llama *foco.*

1389. El punto en que se habrian reunido los rayos convergentes si hubiesen podido continuar su camino en el mismo medio, ó el punto de que habrian salido los rayos divergentes prolongados en línea recta, se llama *foco imaginario.*

1390. Sea R (fig. 116) el punto luminoso y *bc* la superficie de un espejo plano. Prolónguese el plano del espejo, y del punto R bájese sobre la prolongacion la perpendicular RC. Si se prolonga esta perpendicular de modo que C*r* sea igual á CR, *r* será el foco imaginario de los rayos que saliendo de R son reflejados por el espejo.

Sea R*b* un rayo incidente, y *bf* el rayo reflejo que se supone prolongado por detras del espejo. Por ser el ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexion, sus complementos R*b*C, *fbd* son tambien iguales, y de consiguiente el ángulo *rb*C opuesto por el vértice al ángulo *fbd* es igual al ángulo R*b*C: los triángulos rectángulos R*b*C, *rb*C son pues semejantes, y por tener el lado C*b* comun, son iguales; por lo que CR es igual á C*r*. Se puede decir lo mismo de todos los demas rayos que salen del punto R, sea cual fuere el plano en que se les conciba perpendicularmente al plano del espejo: de que se sigue que cualquiera que sea el lugar en que se halle el espectador, si los rayos reflejos vienen hácia él, penetrarán su órgano de la vista como si saliesen del punto *r*, y en este punto es en donde se ve situada la imágen del punto R.

1391. Síguese de todo esto, 1.º que en los espejos planos la imágen está siempre colocada detras del espejo y á la misma distancia de la parte posterior que el objeto de la parte anterior. 2.º La imágen es siempre derecha. Para que fuese invertida seria preciso que los rayos se cruzasen pasando por el centro, lo que no puede suceder en los espejos planos porque la distancia al centro de su esferoicidad es evidentemente infinita.

3.º La imágen debe ser igual y semejante al objeto; porque es evidente que la imágen de cada punto del objeto se halla en una recta tirada desde este punto perpendicularmente á la superficie del espejo: de que se sigue que la imágen y el objeto se hallan entre dos paralelas tiradas de dos estremidades del objeto perpendicularmente á la superficie del espejo, y de consiguiente que la imágen debe ser igual y parecida al objeto.

4.º Si uno se mira en un espejo plano, el lado derecho del cuerpo se ve representado en el lado izquierdo y recíprocamente.

5.º Cuando uno se aproxima ó se aleja de un espejo plano, la imágen se aproxima ó se aleja.

1392. En un espejo horizontal los objetos que estan derechos deben parecer invertidos; porque en un espejo plano la imágen y el objeto se hallan en sentidos opuestos á la misma distancia

del espejo: las partes del objeto mas inmediatas del espejo deben por esto ser tambien las inmediatas en la imágen, y de consiguiente los objetos que estan derechos deben parecer invertidos en un espejo horizontal.

1393. Por este medio se esplica el porque los árboles que estan situados en la orilla de un rio se ven en el agua en un órden inverso.

1394. Objetos colocados horizontalmente parecen tener una situacion vertical y recíprocamente, si el espejo plano al traves del que se ven, hace con el horizonte un ángulo de 45 grados; porque por la suposicion el objeto está alejado del espejo 45 grados, y por consiguiente la imágen se halla á la misma distancia, luego el objeto está alejado de la imágen 90°, por lo que se ve que el espejo óptico forma con el horizonte un ángulo de 45°, pues que las pinturas horizontales nos parecen tener una posicion vertical.

1395. La imágen de un objeto colocado paralelo á la superficie de un espejo plano, parece no ocupar en el espejo sino un espacio igual á la mitad de la que el objeto ocupa.

Sea AB (fig. 117) una dimension cualquiera de un objeto paralelo al espejo IG; sea *ab* la imágen de AB, desde un punto cualquiera P tomado sobre AB, tiremos P*a*, P*b*; es evidente que IE es la parte del espejo ocupado por la imágen *ab*, y puesto que IG está precisamente en el medio entre AB y *ab*, la parte IE no es sino la mitad de *ab* ó de AB: de lo que se sigue que para verse todo entero en un espejo que tiene una situacion vertical, es menester que el espejo tenga á lo menos la mitad de la altura y del ancho de aquel que se mira estando en pie.

1396. Si un espejo plano gira sobre su eje, el movimiento angular del rayo reflejo es doble desde el espejo, porque siendo el ángulo de reflexion igual al ángulo de incidencia, si el rayo de incidencia forma con el espejo un ángulo de 20 grados, el rayo reflejo forma tambien con el espejo un ángulo de 20 grados. Supongamos que el espejo se arrima al rayo incidente 10 grados, entonces se aparta del rayo reflejo 10 grados: luego en este primer

instante el espejo se aleja del rayo incidente 10 grados, y del reflejo 30 grados: luego para que el ángulo de reflexion quede igual al de incidencia, el rayo reflejo debe arrimarse al espejo 20 grados, y por consiguiente el movimiento angular del rayo reflejo es doble que el del espejo.

1397. Síguese de aqui que si se hace describir á un espejo un cuarto de circunferencia, el rayo reflejo describirá media circunferencia; de aqui es, 1.° que se da un movimiento tan rápido á las imágenes del sol presentadas en el espejo; 2.° que las imágenes de este astro reflejadas por agua tranquila, parecen siempre agitadas, particularmente si son recibidas un poco lejos del punto de incidencia etc.

1398. Un vidrio azogado presenta dos imágenes del mismo objeto, la una anterior y débil, la otra mas viva y lejana.

Esto sucede porque la superficie anterior del vidrio es tambien un espejo que, enviando los rayos que no penetran el vidrio, forma una imágen débil del objeto. Esta imágen es tanto mas sensible cuanto se mira mas oblicuamente; porque si se mira perpendicularmente, se confunde con la imágen viva formada por la superficie azogada.

1399. Si el espectador se halla colocado en I (fig. 118), entre dos espejos planos AB, BC que formen un ángulo cualquiera ABC, verá tantas imágenes de un objeto O, colocado tambien entre los dos espejos, cuantas perpendiculares puedan sucesivamente tirarse del objeto, y de cada una de las imágenes sobre cada uno de los espejos por esta parte del ángulo B.

1.° Tírese desde el objeto O la perpendicular OD sobre el espejo BC, de modo que ON = ND, el punto D será el primer lugar de la imágen, porque si desde el ojo I se tira ID, y si por *g* en donde encuentra al espejo se tira la *g*O, este será el rayo incidente cuyo reflejo será I*g*, por el cual el espectador ve la imágen que está en D, á causa de los triángulos rectángulos D*g*N, O*g*N que dan el ángulo O*g*N = D*g*N = B*g*I.

2.° Si del punto D se tira sobre el espejo AB la perpendicular DE, de modo que *k*E = D*k*, el punto E es el sitio de una

segunda imágen, de la que tiene lugar de objeto la imágen en D; porque á causa de ON = ND, y de los triángulos iguales ONf, DNf, el rayo incidente Of refleja en fi, y á causa de los triángulos rectángulos iguales Dki, Eki, el rayo fi se refleja en iI y llega por consiguiente en I al ojo del espectador.

3.º Si del punto E se tira sobre el espejo BC la perpendicular EQ, y si se toma QF = EQ, el punto F será el sitio de una tercera imágen, á la que sirve de objeto la imágen en E; porque á causa de los triángulos rectángulos iguales OdN, NDd, Drk, rkE, FQb, bQE se ve que el rayo de incidencia Od se refleja en dr, despues en rb, y por último en bI, desde donde llega al ojo.

4.º Si del punto F se tira una perpendicular sobre el espejo AB, se hallará que pasa mas allá por FG, y que por consiguiente ya no se forma imágen. Se puede demostrar del mismo modo, que la primera imágen del objeto O, visto por el rayo Ih reflejado del rayo incidente Oh está en el punto H, la segunda en el punto K, la tercera en el punto L etc.

1400. De aqui se sigue; 1.º que la primera imágen se ve por un rayo reflejo, la segunda por dos, la tercera por tres, etc.

2.º La distancia de cada imágen al ojo es igual á su rayo incidente, añadiendo á sus rayos reflejos, por ejemplo. . . . . IF$=$O$d+br+rb+b$I; porque IF$=$I$b+b$F, bF$=b$E$=br+r$E; y rE$=r$D$=rd+d$D. En fin dD$=d$O: luego IF$=$I$b+br+rd+d$O.

3.º La primera imágen es mas viva que la segunda, la segunda mas que la tercera y asi de las demas. Dos causas contribuyen en esto; 1.º la intensidad de accion del fluido luminoso decrece en toda esta marcha; 2.º se pierde una cantidad considerable de rayos en cada reflexion.

4.º Cuanto mayor es el ángulo que forman los dos espejos tanto menor número hay de imágenes, porque el número de imágenes depende del número de perpendiculares que se pueden tirar del objeto, y de cada una de estas imágenes á la superficie de cada espejo; aumentando el ángulo la distancia entre estas perpendiculares aumenta, y de consiguiente su número disminuye.

5.° Si los espejos forman un ángulo recto, no hay mas que dos imágenes del objeto; porque segun esta suposicion no se puede tirar mas que una perpendicular desde el objeto á cada espejo.

6.° Si los espejos forman un ángulo infinitamente obtuso no hay mas que una imágen del objeto.

7.° En fin si los espejos son paralelos hallándose el objeto y el ojo en una misma línea perpendicular al plano de estos espejos hay una infinidad de imágenes: pero van siempre alejándose y debilitándose hasta el punto de hacerse insensibles.

CAPÍTULO III.

DE LOS ESPEJOS ESFÉRICOS CONVEXOS.

1401. Se puede considerar una superficie esférica cualquiera como formada de una infinidad de pequeñas superficies planas; y el plano que toca una esfera representa una de estas pequeñas superficies planas continuadas.

1402. Los espejos esféricos son cóncavos ó convexos.

Los cóncavos estan formados de una porcion de esfera hueca y pulida.

Los espejos convexos son porciones de esfera cuya superficie esterior es pulida.

1403. Sea un espejo esférico convexo NKXP (fig. 119), cuyo eje es XB. Sean los rayos AX, EK, que den paralelos al eje sobre una porcion muy pequeña del espejo: estos serán reflejados, y su foco imaginario estará en F punto del eje igualmente distante de la superficie del espejo y de su centro C.

Tírese desde el centro C por K la recta CKL, que dé perpendicularmente sobre el punto K, y tírese desde el punto F por K la recta FKM; en este caso EKL es el ángulo de incidencia, y LKM el ángulo de reflexion; porque por la suposicion CF = FX. Ademas la parte del espejo sobre que caen los dos rayos paralelos es supuesta muy pequeña: luego FK = FX, y CF = FK; luego el ángulo FKC = FCK; pero con motivo de las paralelas EK,

AB, cortadas por la recta LKC, el ángulo LKE=KCF. Ademas el ángulo FKC está opuesto al vértice del ángulo LKM, luego el ángulo MKL = EKL, luego el ángulo MKL es el ángulo de reflexion, etc.

1404. Si los rayos divergentes EB, ED (fig. 120) caen sobre una muy pequeña parte del espejo esférico convexo BDS cuyo centro está en C, el foco imaginario estará en F; si CF : FB : : CE : EB.

Tírese desde el centro C por D la perpendicular CDR, y de F por D la recta FDN, á la que ER sea paralela: el arco BD habiéndose supuesto muy pequeño, FB = FD, y EB = ED; pero por la suposicion CF : FB : : CE : EB; luego CF : FD : : CE : ED. Sentado esto, con motivo de las paralelas FD, ER, los dos triángulos CFD, CER son semejantes; por lo que CF : FB : : CE : ER; luego ER=ED; luego el ángulo ERD=EDR=FDC=RDN; y como el ángulo EDR es el ángulo de incidencia, el ángulo RDN es el ángulo de reflexion, etc.

1405. Pues que CE:EB::CF:FB, tendremos CE+EB:EB::CB:FB; la razon pues de CB:FB aumenta segun la misma relacion que la de CE+EB:EB. De que se sigue que si el punto luminoso E se aproxima mas al espejo, el foco F se aproximará tambien mas, de modo que si se coloca el objeto en B, la imágen estará tambien en B, es decir en la superficie del espejo; porque entonces EB=0: por consiguiente CE+EB es infinitamente grande con relacion á FB, y asi FB=0.

1406. Sea FB=f, CB=r, EB=d; en este caso CE=$r+d$ y CF=$r-f$: por lo que la proporcion CE : EB : : CF : FB se muda en esta otra, $r+d : d : : r-f : f$; luego $fr+fd=dr-df$: de que se saca $f=\frac{dr}{2d+r}$. Esta fórmula sirve para determinar en todos los casos el lugar y graduacion de las imágenes cuando los espejos son convexos.

1407. Si los rayos saliendo de diferentes puntos EGL del objeto, caen en la superficie de un espejo convexo BDS (fig. 121) los que salen del punto E se reflejan; y si se conciben prolongados concurren en el punto f. Los que parten del punto L siendo

reflejados y prolongados concurren en el punto f'', de modo que la curva $ff'f''$ presenta la imágen del objeto.

1408. Síguese de aqui; 1.° que por grande que sea el espacio ocupado por el objeto, su imágen está concentrada en esta curva, y de consiguiente debe siempre parecer mas pequeña.

2.° Si el objeto EGL se mueve al rededor del espejo, toda la curva $ff'f''$ está transportada por un movimiento semejante; lo que hace que cuando el objeto sube, la imágen sube tambien, y recíprocamente; pero en ningun caso el objeto debe parecer invertido.

CAPÍTULO IV.

DE LOS ESPEJOS ESFERICOS CÓNCAVOS.

1409. Sea un espejo cóncavo ZBDH (fig. 122), sobre el que den los rayos ED, CB, muy inmediatos entre sí; y que de estos haya uno CB que pase por el centro C; estos rayos reflejarán y se reunirán en el punto F igualmente distante de B que de C.

El rayo CB que cae perpendicularmente sobre el punto B, sigue una marcha retrógrada por la reflexion. Tírese desde el centro C del espejo la perpendicular CD al punto D. EDC es el ángulo de incidencia, y CDF el ángulo de reflexion; por ser BD un arco muy pequeño, FB=FD=FC: asi pues en el triángulo FCD el ángulo FCD=EDC; pero con motivo de las paralelas CB, ED, el ángulo FCD=EDC: luego el ángulo FDC=EDC; luego FD es el rayo reflejo, y el punto F el foco.

Si el rayo GH se halla á una mayor distancia del eje CB, y se tira la perpendicular CH, es evidente que FH será mayor que FB, y de consiguiente el ángulo FHC será mas pequeño que FCH ó CHG; de que resulta que si GH es el rayo incidente, HF ya no será el rayo reflejo. Este será HP el que cortará CB entre F y B en el punto N. Esta es la razon porque los rayos que se hallan mucho mas lejos del eje CB formarán un pequeño círculo sobre el plano que seria perpendicular al eje CB en el punto F.

1410. Todos los rayos emanados por un cuerpo lúcido colo-

cado en el centro de un espejo cóncavo caen perpendicularmente sobre la superficie del espejo; y siendo el ángulo de reflexion siempre igual al de incidencia, estos rayos toman en su reflexion un camino retrógrado, y van á reunirse al centro de donde salieron, de que resulta que si el ojo se halla colocado en el centro del espejo, recibe todos los rayos reflejados, y de consiguiente lo ve todo de un modo confuso.

1411. Si el objeto E (fig. 123) situado mas allá del centro C arroja sobre el espejo cóncavo BDG los rayos divergentes y muy poco distantes los unos de los otros EB, ED, EG, el foco de los rayos reflejos estará en el punto F, cuya distancia FB al espejo es á FC su distancia al centro, como BE distancia del objeto al espejo, es á EC distancia del objeto al centro.

Por la suposicion BDG es un arco muy pequeño: luego $EB = ED$, y $FB = FD$. Por la suposicion tambien: $FB:FC::BE:EC$, luego $FD:FC::ED:EC$, ó $FD:ED::FC:EC$: luego la recta DC tirada del vértice del ángulo FDE sobre la base EF la divide en partes proporcionales á los lados adyacentes: luego el ángulo $FDC = CDE$; pero el ángulo CDE es el ángulo de incidencia; luego el ángulo FDC es el de reflexion: asi pues el punto F es el foco de los rayos que salen del objeto E, y de consiguiente si el ojo se halla en el punto F, verá el objeto confusamente.

El foco F se halla siempre mas cerca de C que del punto B de la superficie del espejo; porque en la proporcion $FB:FC:: BE:EC$, BE es mayor que EC: por lo que tambien FB es mayor que FC, y de consiguiente el foco es mas inmediato de C que de B.

1412. Sea $FB = f$, $CB = r$, $EB = d$; se tendrá $FC = r - f$ y $EC = d - r$; entonces la proporcion $FB:FC::BE:EC$ se muda en esta $f:r-f::d:d-r$, de la que se saca $= f\frac{dr}{2d-r}$. Por medio de esta ecuacion se puede determinar en todos los casos el lugar y marcha progresiva de las imágenes en un espejo cóncavo. La misma fórmula puede tambien aplicarse á los espejos planos sustituyendo ∞ en lugar de r; porque un espejo plano puede siempre ser mirado como una porcion de esfera cuyo radio es infinito.

Los rayos FO, FH al partir del foco F siendo divergentes, situado el ojo en OH verá el objeto E en F, pero invertido; porque el rayo ED que cae sobre el espejo mas alto que el rayo EG, pasa á ser por la reflexion el rayo inferior FH al paso que EG se hace reflejando el rayo superior FO.

1413. Si el objeto está situado en F, sus rayos reflejados por el espejo concurrirán en E, y el ojo colocado mas atras verá el objeto en E, pero aun invertido por cruzarse los rayos en el punto E.

1414. Supongamos ahora que el objeto esté colocado en el punto E (fig. 124) á una distancia del espejo cóncavo BD menor que la mitad del rayo de esferoicidad; en esta suposicion la distancia FB del foco imagiuario al espejo será á FC distancia de este foco al centro del espejo, como EB distancia del objeto al espejo, es á EC, distancia del objeto al centro.

Sea el rayo ED que caiga sobre el espejo muy inmediato al punto B. Tírese al punto D la perpendicular CD, y ER paralela á FN, y se tiene evidentemente EB=ED, y FB=FD: sentado esto los triángulos CER, CFD son semejantes: luego CE : ER :: CF : FD, ó sustituyendo FB á FD CE : ER :: CF : FB; pero por la suposicion FB : FC :: BE : EC ó FC : FB :: EC : BE: luego EC : BE :: CE : ER : luego BE=ER=ED: luego el triángulo DER es isósceles, y de consiguiente el ángulo ERD=RDE; pero el ángulo ERD=RDN: luego el ángulo de incidencia RDE = RDN, el que es de consiguiente el ángulo de reflexion; de que resulta que el punto F es el foco imaginario.

Los rayos CB, DN son necesariamente divergentes; porque, pues que el triángulo RDE es isósceles, se tiene en el triángulo CDE que el ángulo D es mayor que el ángulo C: luego el ángulo CDN es mayor que FCD: luego los rayos CD, DN son divergentes.

1415. Hasta ahora hemos considerado los rayos que caen sobre un espejo cóncavo á una grande distancia del eje: réstanos el estudiar el camino que siguen en su reflexion los rayos que caen de cada punto del objeto sobre la superficie entera del espejo.

Sea el objeto E (fig. 125) mas distante del espejo cóncavo GBK,

que el centro C. Para mayor simplicidad no concibamos ahora mas que un solo plano, al que vayan á dar los rayos que salen de E tales como EB, ED, EO, EG. Al reflejar formarán en sus intersecciones con los rayos incidentes una curva F, *a*, *a*, *a*, en que los rayos reflejos son las tangentes. Del mismo modo los rayos EB, EH, EI, EK formarán despues de haber reflejado por sus intersecciones con los rayos incidentes otra curva *d*, *d*, *d*, F de la que los rayos reflejados son las tangentes, y esta segunda curva se reune con la primera en F. Concibiendo del mismo un solo plano al que vayan á dar los rayos, se puede imaginar por ECB una infinidad de otros planos todos sobre la superficie del espejo, sobre los que se formarán semejantes curvas, las que compondrán juntas dos superficies curvas cóncavas contiguas al punto F, el que será por consiguiente el foco.

1416. Se ha visto que FB : FC : : BE : EC: de que se sigue; 1.° que las curvas F, *a*, *a*, *a*, y F, *d*, *d*, *d*, se aproximarán al espejo si el objeto E se aparta mas: porque en esta suposicion EC se hace mayor con relacion á BE: luego FC debe aumentar con relacion á FB.

2.° Cuanto mas el objeto E se aproxime al espejo, tanto mas las curvas se alejarán de él; porque en este caso EC disminuye con relacion á BE: luego FC debe disminuir con relacion á FB.

3.° Si el objeto E llega al centro del espejo, EC = 0: luego FC = 0: luego FB = EC: por lo que las dos curvas se reunen en el centro del espejo en que son como llevadas la una hácia la otra.

4.° Si el objeto E se aproxima aun al espejo, las curvas se alejarán mas, y cuando haya llegado al punto del eje medio entre el centro y la superficie del espejo, el punto en que las curvas se reunirán será á una distancia infinitamente grande porque en esta distancia del objeto al espejo los rayos reflejados son paralelos; pero si el objeto se aproxima mas al espejo de modo que su distancia sea menor que la mitad del rayo de esferoicidad, las curvas se separarán entre sí como C, C, (fig. 126), algunos rayos reflejados tales como *e*X no tocarán mas las curvas C, C; estos saldrán divergentes; y si se prolongan concurrirán detras del espejo,

en donde se formará una nueva curva compuesta de dos partes de las que la una está en *a*, *a*. Estas se reunen en el punto *a* situado en la recta EB prolongada y se alejan del espejo hasta al infinito.

Los objetos se ven siempre en estas curvas: de que se sigue que si la distancia del objeto al espejo es mas pequeña que la mitad del rayo de esferoicidad, el objeto parecerá delante ó detras del espejo segun el lugar en que se halle situado el ojo. Si el ojo recibe los rayos que siendo prolongados forman la curva *a*, *a*, detras del espejo, el objeto parecerá derecho y mayor detras de él, porque los rayos que forman las curvas *a*, *a*, son divergentes.

Si el ojo recibe los rayos que forman la curva CC delante del espejo, el objeto se verá delante de este y parecerá derecho. En fin si el ojo está situado en el punto en que se cortan los rayos que pertenecen á las curvas delante y detras del espejo, verá el objeto doble, no solo en *a*, *a*, sino en CC. En esto está la razon porque el objeto mirado con los dos ojos parece cuádruplo. Ningun físico que yo sepa ha escrito sobre estas curvas de un modo mas luminoso que el célebre *Sgravezande*.

1417. Lo que se ha dicho hasta aqui de los espejos cóncavos, ofrece fácil esplicacion á los fenómenos que siguen.

Primer esperimento. Sea un espejo cóncavo de metal ó de vidrio azogado, movible sobre los dos estremos de un eje ajustado en su borde. Espóngase el espejo á los rayos del sol, de modo que el rayo que dé en el punto del medio sea perpendicular á su superficie; siéndole todos los demas rayos paralelos se juntan en la imágen del sol á una distancia del espejo de cerca la mitad del radio de la esfera á que pertenece, y en este lugar queman con admirable actividad.

Si la superficie del espejo tiene 405 milimetros de diámetro, y el foco está á 162 milimetros (6 pulgadas) de distancia, la madera se inflama al instante y pequeñas láminas de plomo se funden en muy poco tiempo.

Segundo esperimento. Colóquese una mecha encendida en el punto medio entre el centro de un espejo cóncavo y su superfi-

cie; sus rayos serán reflejados por el espejo en direcciones paralelas con motivo de los ángulos de reflexion iguales á los de incidencia: de esto depende que se emplean con utilidad los espejos cóncavos para enviar á una grande distancia los rayos de luz que emanan de un cuerpo lúcido cualquiera.

Tercer esperimento. Pónganse dos espejos cóncavos el uno frente del otro, á 7 metros (15 ó 20 pies) de distancia. En el foco del uno colóquese un carbon encendido, cuyo fuego se activa por medio de un fuelle; y en el foco del otro póngase una mecha ó un cuerpo fácil á encenderse. Los rayos que salen del carbon reflejados por el primer espejo, sufren segunda reflexion en el otro, y se reunen en su foco en donde encienden la mecha y otros combustibles.

1418. Débese al célebre *Buffon* la construccion de un espejo ustorio compuesto de un grande número de pequeños espejos planos y movibles que se pueden inclinar á voluntad para dirigir los rayos del sol á un solo punto. El espejo inflama la madera á 67 metros (cerca 200 pies) de distancia; funde el estaño á 50 metros (cerca 150 pies), y el plomo á 47 metros (cerca 140 pies). Estos efectos que no pueden ponerse en duda, hacen probable el incendio de la flota de *Marcelo* en el sitio de Siracusa, por medio de un espejo inventado por *Arquimedes*.

1419. Los espejos metálicos cóncavos tienen tambien la propiedad de reflejar el calórico radiante, y de concentrar en su foco toda la accion de este fluido. Esta concentracion da origen á fenómenos admirables que al principio sorprenden; pero que se ha visto ya que se acomodan con facilidad á la teoría del calórico.

CAPÍTULO V.

DE LOS ESPEJOS PRISMÁTICOS, PIRAMIDALES, CILÍNDRICOS, etc. etc.

1420. Los espejos prismáticos se componen de superficies planas inclinadas las unas á las otras, las que tienen cada una la figura de un paralelógramo. Estos espejos tienen la propiedad de

reunir en una sola imágen y sin interrupcion muchos objetos ó muchas partes de un mismo diseño dispersas y separadas por espacios que son ó vacíos ó llenos de otras figuras que no se representan en el espejo.

1421. Los espejos piramidales se componen de superficies planas triangulares, inclinadas las unas á las otras de modo que los vértices de todos los triángulos se reunen para formar el vértice de la pirámide. Estos espejos producen efectos análogos á los prismáticos; y su esplicacion se funda en la teoría de los espejos planos.

1422. Los espejos cilíndricos son aquellos cuya superficie reflectente es cilíndrica. Deben considerarse como un conjunto de espejos en parte planos y rectos, y en parte esféricos, de modo que combinando las propiedades de los espejos planos con las de los espejos esféricos, se concebirá fácilmente la degradacion de las imágenes regulares y recíprocamente.

Si se presenta verticalmente un objeto á un espejo cilíndrico que tenga una situacion vertical, es claro que las dimensiones verticales del objeto no serán desfiguradas, cualquiera que sea la distancia del espejo en que esté colocado el objeto, pues que estas dimensiones se presentan delante de espejos planos y verticales; pero que las dimensiones horizontales deben ser desfiguradas por presentarse á espejos esféricos. Las imágenes de las diferentes partes de este objeto son pues las mas regulares y las otras degradadas: su reunion forma una figura irregular, y esta irregularidad se puede determinar, de modo que se diseñan sobre un plano figuras que siendo efectivamente irregulares, parecen regulares por medio de semejantes espejos, estando el ojo colocado en un plano determinado.

Se construyen espejos cilíndricos, cuya superficie es convexa, y otros cuya superficie es cóncava. Estos producen casi los mismos efectos, con la diferencia que siendo la superficie convexa, la imágen se ve detras del espejo, al paso que se ve delante cuando el espejo es cóncavo, porque el objeto está siempre colocado mas lejos que el foco de los rayos paralelos.

1423. Los espejos parabólicos son aquellos en que la superfi-

cie reflectente es parabólica. Estos tienen la propiedad de reflejar paralelos al eje los rayos que saliendo de su foco van á dar en su superficie, y reciprocamente de concentrar en su foco los rayos que como los que nos vienen del sol caen en su superficie paralelos al eje. Los espejos parabólicos son escelentes espejos ustorios.

1424. Los espejos elípticos son aquellos en que la superficie reflectente es elíptica. Tienen la propiedad de reflejar á uno de sus focos todos los rayos que salen del otro, de modo que si se pone una vela encendida en uno de ellos, los rayos luminosos que envia sobre el espejo van á reunirse al otro foco. Estos espejos son muy difíciles de construir.

CAPÍTULO VI.

EN EL QUE SE INDAGA CUAL ES LA CAUSA QUE PRODUCE LA REFLEXION DEL FLUIDO LUMINOSO.

1425. La mayor parte de los físicos hacian depender de las leyes del choque la reflexion del fluido luminoso. Le miraban como compuesto de pequeños glóbulos perfectamente elásticos, que cayendo sobre un plano inmóvil son rechazados repentinamente bajo un ángulo siempre igual al de la caida. Las esperiencias de *Newton* se oponen claramente á esta clase de mecanismo.

1.° Despues de haber dado á los cuerpos todo el pulimento de que son susceptibles, su superficie mirada con el microscopio presenta una infinidad de escavaciones que, aunque pequeñas, son sin embargo de una magnitud considerable con relacion á las moléculas de que se compone un rayo luminoso. La reflexion sobre la superficie de estos cuerpos es pues necesariamente irregular; y pues que la observacion nos enseña que ellos reflejan el fluido luminoso con regularidad, es necesario concluir que la reflexion se hace á una pequeña distancia de la superficie en donde las irregularidades disminuyen y casi enteramente se desvanecen.

2.° Un cristal encierra en su espesor un gran número de capas de partes sólidas; de donde resulta que si la reflexion del fluido

luminoso fuese producida por las partes sólidas de los cuerpos, los rayos luminosos deberian ser reflejados por cada una de estas capas; y por consiguiente nosotros deberíamos ver tantas imágenes cuantas son las capas en el cristal: ¿de qué depende pues que no se vean mas que dos imágenes, de las que la una se forma sobre la parte anterior del cristal, y la otra sobre su parte posterior.?

3.° Si el fluido luminoso da oblicuamente contra un pedazo de vidrio inmóvil en el aire, se perciben dos imágenes del objeto; pero si debajo del vidrio se pone un vaso lleno de agua ó de aceite, no se ve sino una sola imágen: de lo que se sigue que los rayos que en el primer caso eran reflejados por la superficie posterior del vidrio, no lo son en el segundo. ¿De qué puede provenir esta variacion? solo del agua ó del aceite cuya fuerza atractiva por el fluido luminoso, siendo superior á la de la superficie posterior del vidrio con el mismo fluido le obliga á continuar su camino.

4.° Si se hace caer el fluido luminoso sobre el vidrio es enteramente reflejado, y ningun rayo pasa al aire cuando en el vidrio los rayos luminosos forman un ángulo de incidencia mayor que de 40°; pero parte pasa al aire si se disminuye su obliquidad. ¿Cómo se podrá concebir que el fluido luminoso que pasa del vidrio al aire sin herir partes sólidas, vaya del todo á herir partes sólidas, si se aumenta un poco su obliquidad, pues que uno y otro medio ofrecen paso segun toda suerte de direcciones?

5.° Si en un cuarto oscuro se hace dar un rayo de luz solar sobre un prisma, resultan rayos elementales de diferentes colores. Entre tanto si estos rayos elementales caen sucesivamente sobre un segundo prisma situado á una muy larga distancia del primero con una misma obliquidad, el segundo prisma puede ser de tal modo inclinado á los rayos incidentes que refleje todos los rayos azules, y que dé paso á los rayos rojos; pero si la reflexion fuese causada por las partes del vidrio, se podria pedir ¿de qué depende que bajo la misma obliquidad de incidencia los rayos azules hieran estas partes de modo que se reflejen, y que los rojos

hallen bastantes poros para pasar al traves del prisma en cantidad bastante grande?

6.° No hay reflexion sensible en el punto en que dos vidrios se tocan, y no obstante no se ve en qué consiste que los rayos no hieran las partes del vidrio, cuando está contiguo á otro vidrio, con tanta fuerza como cuando está en el aire.

7.° Si se hacen caer sucesivamente los rayos rojos y azules, que han sido separados por el prisma, sobre una lámina transparente cuyo espesor crece en proporcion aritmética continua, tal como una lámina de aire entre dos vidrios, de los cuales el uno sea plano y el otro un poco convexo, la misma lámina reflejará en la misma parte todos los rayos de un mismo color, y dará paso á todos los de un color diferente; pero reflejará en sus diferentes partes los rayos de un solo y mismo color en un cierto espesor, y les dará paso en otro, y asi alternativamente. ¿Cómo pues se entenderá que en un sitio los rayos azules, por ejemplo, encuentren casualmente las partes sólidas, y los rojos los poros del cuerpo; y que en otro lugar en que el cuerpo tiene un espesor diferente, los rayos azules den en sus poros, y los rojos en las partes sólidas?

Mallebranche piensa como *Newton*, que no son las partes sólidas de los cuerpos las que reflejan al fluido luminoso; y las razones que dan son las mismas que las que acabo de esponer. Los razonamientos que acompañan estos bellos esperimentos son suficientes para demostrar la falsedad de las hipótesis que atribuye al choque la reflexion del fluido luminoso; pero son insuficientes para descubrir la verdadera causa de este interesante fenómeno. No se puede sin duda dejar de conocer que los cuerpos obran sobre la luz, ya rechazándola, ya atrayéndola; pero no es fácil entender como las atracciones y repulsiones no son sino dos modos diferentes con que la misma potencia obra segun las circunstancias. *Newton* intenta esplicarlo diciendo que, como en el álgebra las cantidades negativas comienzan donde acaban las positivas, asi en la mecánica empieza la repulsion cuando cesa la atraccion; pero esta razon es poco satisfactoria, y el fenómeno de la reflexion del fluido luminoso queda aun envuelto en grandes oscuridades.

LIBRO UNDÉCIMO.

PARTE TERCERA.

DEL FLUIDO LUMINOSO, CUANDO LLEGA AL OJO DESPUES DE HABER SIDO REFRINGIDO.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA CAUSA Y DE LAS LEYES DE LA REFRACCION DEL FLUIDO LUMINOSO.

1426. Si se hacen pasar oblicuamente rayos luminosos de un medio á otro de diferente densidad, dejan su camino rectilíneo, y se arriman ó apartan de la perpendicular al punto de incidencia, segun que el segundo medio es mas denso ó mas raro que el primero.

A este desvío, á esta inflexion que esperimentan los rayos luminosos en su paso de un medio á otro de diferente densidad, es á lo que se ha dado el nombre de *refraccion*.

1427. Muchos físicos han mirado despues de *Descartes* como una ley de refraccion que tiene lugar en todos los cuerpos, y en todos los medios, el que un cuerpo que pasa oblicuamente de un medio que le resiste á otro en que se halla menor resistencia, refringe arrimándose á la perpendicular, y que pasando de un medio raro á otro mas denso se aleja de la perpendicular.

De aqui deducian que si los rayos luminosos que pasan del aire al agua se arriman á la perpendicular, al paso que una bala, por ejemplo, que da oblicuamente contra la superficie del agua

se aleja de ella, esto prueba que el agua resiste menos que el aire al movimiento del fluido luminoso, aunque oponga mayor resistencia al movimiento de la bala.

1428. Parece sin duda arreglado el hacer depender de las mismas causas la refraccion del fluido luminoso y la de los cuerpos sólidos; pero si se examinan con atencion los fenómenos que dependen de la refraccion del fluido luminoso, es fácil ver que se diferencian mucho de los que acompañan la refraccion de los cuerpos sólidos.

La esperiencia hace ver que la refraccion de un rayo de luz que atraviesa el vidrio de un recipiente, aumenta á medida que los golpes del émbolo enrarecen el aire contenido en dicho recipiente. ¿Se dirá que la máquina neumática aumenta los estorbos en el medio que enrarece, y que el rayo jamas halla mayor resistencia que cuando el recipiente se halla tan purgado de aire como es posible? Los Cartesianos se ven sin duda obligados á admitir esta consecuencia, y no pueden dejar de admitir que los cuerpos mas densos son los que oponen la menor resistencia al fluido luminoso.

A esta dificultad se añade otra. Si la resistencia del medio es causa de la refraccion del fluido luminoso del mismo modo que lo es de la refraccion de los cuerpos sólidos, síguese que un rayo que sufre muchas refracciones debe perder sensiblemente su movimiento, y aun que lo perderá enteramente, como sucede á un cuerpo sólido que atraviesa un fluido; pero la esperiencia hace ver lo contrario, y si sucede que un rayo que atraviese muchos medios difunde sensiblemente menor luz, la causa no está sino en la pérdida real de algunas de sus partes que despues de diferentes reflexiones se combinan con las particulillas sólidas del medio; las partes que se combinan continuan su camino con toda su fuerza primitiva.

La refraccion del fluido luminoso reconoce por causa la mayor atraccion que ejerce sobre el rayo el medio mas denso, á que va á entrar, ó de que está sobre el punto de salir, y esta atraccion está sujeta á las mismas leyes que la que anima las pequeñas

moléculas de la materia; es muy grande en el contacto y disminuye súbitamente alejándose de los cuerpos, de modo que su accion es nula á una distancia sensible.

1429. Sea X el medio mas denso (fig. 127), Z el medio raro, y EF la superficie que separa estos medios. El fluido luminoso es atraido por todas las moléculas de la materia: por lo que si representamos la distancia á que estas moléculas ejercen su accion por la que media entre las líneas EF, GH, es claro que el rayo de luz que se halla entre estas líneas es atraido por el medio denso X, y esta atraccion es perpendicular á la superficie que separa los medios, porque las acciones oblicuas son semejantes, iguales de todas partes, y se ejercen siempre perpendicularmente á la superficie.

Las moléculas del medio X, mas vecinas á la superficie EF que separa los medios, son las únicas que ejercen su accion sobre el fluido luminoso á la distancia á que se halla la línea GH: otras obran con estas á una distancia menor, de modo que la fuerza atractiva aumenta á medida que la distancia disminuye. Sea en el medio denso X la línea IL situada á la misma distancia de EF que GH en el medio Z, y supóngase que el fluido luminoso atraviese el medio X; este fluido será atraido de todas partes por las moléculas del medio cuyas distancias sean menores que la distancia que separa EF de GH, pues que se supone que á esta distancia el fluido luminoso es atraido por las moléculas del medio X.

Mientras este fluido se halla entre EF é IL, la fuerza que le atrae hácia IL es superior porque es mayor el número de moléculas que le atraen hácia esta parte; pero aumentando el número de moléculas que obran en sentido contrario, es decir, aumentando la distancia de EF, la fuerza hácia IL disminuye hasta que en la misma línea IL, el fluido luminoso sea igualmente atraido de todos los lados, y esto tiene asi lugar en el medio X desde que el fluido está á la otra parte de IL.

Sentado esto, hágase caer oblicuamente el rayo luminoso A*a* contra la superficie que separa los medios, ó mas bien sobre la superficie GH, en que se ha supuesto el principio de la accion

por la que el fluido luminoso es atraido hácia el medio X; cuando el rayo llega en *a* es desviado de su camino rectilíneo por la fuerza con que es atraido por el medio X, es decir, por la que es llamado hácia este medio segun una direccion perpendicular á su superficie. El rayo es desviado de su camino rectilíneo en todos los puntos mientras se halla entre las líneas GH é IL, entre las que obra la fuerza atractiva; de que se sigue que el rayo entre estas líneas describe la curva *ab*. Mas allá de la línea IL la accion que desvia al rayo cesa, y de consiguiente continua moviéndose en línea recta por *b*B, segun la direccion de la curva en el punto *b*.

Siendo muy pequeña en la refraccion la distancia que separa las líneas GH, é IL no se atiende á la parte curva de la direccion del rayo, y se considera como compuesta de dos líneas rectas AC, CB que se unen en el punto C, es decir en la superficie que separa los medios.

1430. Tírese por el punto C la recta NCM perpendicular á la superficie EF. La parte AC del rayo de que se acaba de hablar se llama *rayo de incidencia*, y la parte CB *rayo quebrado* ó *de refraccion*. El ángulo ACN es el ángulo de *incidencia*, y el ángulo BCM es el ángulo de *refraccion*.

1431. Cuando el fluido luminoso pasa de un medio raro á otro denso el ángulo de refraccion es menor que el de incidencia; porque estos dos ángulos serian iguales si el rayo AC continuase á moverse en línea recta por CD; pero el rayo CB se aproxima mas á la perpendicular CM; por esto se dice que la refraccion se hace hácia la perpendicular.

1432. Si un rayo luminoso pasa de un medio mas denso á un medio mas raro, se aparta de la perpendicular, porque la atraccion del medio mas denso, ejercida sobre el rayo, es la misma, sea que pase de un medio mas raro á uno mas denso, ó de uno mas denso á otro mas raro; de lo que resulta que si BC es rayo incidente, CA será un rayo refracto, y de consiguiente que el rayo se mueve por las mismas líneas de cualquiera parte que salga.

1433. Síguese de aqui que si dos rayos pasan, el uno de un medio denso á otro raro, y el otro de un medio mas raro á otro

mas denso, y que el ángulo de refraccion de este sea igual al ángulo de incidencia del otro, los otros ángulos de incidencia y de refraccion serán iguales entre sí.

Para hacer mas sensible esta conclusion, sea X (fig. 128) un medio terminado por las superficies paralelas EF, HL, que le separan de los dos lados del mismo medio Z: supongamos el medio X mas denso: los resultados serán los mismos si se le supone mas raro. El fluido luminoso entra por AC, es refractado por CB, y sale por BG. Tírense por C y por B las perpendiculares NCM, PBO; los ángulos MCB, CBO alternos internos, son iguales. Despues por razon de la fuerza atractiva que obra en los dos lados de la misma manera, los ángulos ACN, PBG son tambien iguales; pero el ángulo MCB es el ángulo de refraccion en la primera refraccion, y el ángulo CBO es el ángulo de incidencia en la segunda: luego los otros dos ángulos son iguales.

1434. Un rayo luminoso conserva su direccion, si atraviesa un medio terminado por superficies paralelas, porque la inflexion que sufre hácia un lado en la entrada, es perfectamente semejante á la inflexion que esperimenta hácia el lado opuesto en la salida. Los rayos AC, BG son pues igualmente inclinados sobre las paralelas MN, OP y de consiguiente son paralelos entre sí.

1435. Si un rayo luminoso cae perpendicularmente sobre la superficie que separa los dos medios, no se aparta del camino rectilíneo por la fuerza atractiva del medio denso; porque esta fuerza obra en este caso en la direccion del movimiento del rayo.

1436. La atraccion del medio denso ha fijado hasta aqui esclusivamente nuestra atencion, porque es la mas enérgica. Por esto no es menester despreciar la accion del medio raro; porque esta disminuye la accion del denso, la que es tanto menor contra el fluido luminoso, cuanto los medios difieren menos en densidad; de aqui sin duda se origina que la refraccion es nula, cuando los medios tienen la misma densidad, y que es tanto mayor cuanto las densidades sean entre sí mas diferentes.

1437. Cualquiera que sea la obliquidad ó la inclinacion de un rayo luminoso, que pasa de un medio á otro de diferente

densidad, la razon del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refraccion es constante é invariable.

Esta ley que manifiesta la esperiencia se deduce fácilmente de la aceleracion que produce la fuerza atractiva. Para esto importa notar que aunque la accion de un cuerpo sobre el fluido luminoso sea siempre dirigida perpendicularmente á su superficie, no obstante la aceleracion de velocidad de un rayo de luz en el paso de un medio raro á un medio denso, ó el retardo del paso de un medio denso á un medio raro son los mismos: porque aunque la aceleracion ó el retardo sea menor cuando el movimiento es mas oblicuo, su duracion es mas larga, lo que produce una compensacion; de que resulta que hay una relacion constante entre las velocidades de un rayo luminoso en dos medios dados. Sentado esto, sea AC (fig. 129) la velocidad de un rayo incidente, la que se descompone en AO paralela y OC perpendicular á la superficie EF, que separa el medio Z del medio denso X. La velocidad paralela AO no es pues alterada por la atraccion del medio X el que aumenta esclusivamente la velocidad vertical OC. Esprésese este aumento de velocidad por RS; tómese sobre CS, CV=AO; tírese AQ perpendicular á EF, tendremos QC=CV. Tírese CR=OC y añádase RS; en este caso el rayo despues de su inmersion en el medio X será impelido por las fuerzas CS y CV, las que combinadas harán describir al rayo la diagonal CB del paralelógramo construido sobre las direcciones de estas fuerzas; CB espresará pues la velocidad y la direccion del rayo despues de su inmersion en el medio X. Descríbase ahora desde el centro C con el rayo CA un círculo que cortará CB en T y desde este punto tírese TR perpendicular á CS y tendremos BC:CT::BS:TR; pero CT = CA, y BS = CV = AO: luego BC : CA : : AO : TR, es decir, que la velocidad del rayo despues de la refraccion es á su velocidad antes de la refraccion como el seno del ángulo de incidencia es al seno del ángulo de refraccion; y como las líneas CA, BC deben ser constantemente las mismas, se sigue que la razon entre los senos AO, TR es constante é invariable.

1438. El ángulo DCM es igual al ángulo de incidencia ACN.

(fig. 127). Si se describe un cuarto de círculo FDM, el seno de este ángulo es D*o* cuando el seno del ángulo de refraccion BCM es TR. Concibamos el círculo descrito desde el centro C por el punto V, las líneas BC, DC son las cosecantes de los ángulos de refraccion y de incidencia; pero BC : TC ó DC : BS ó D*o* : TR; luego las cosecantes de los ángulos de refraccion y de incidencia estan en razon inversa de los senos de los mismos ángulos.

1439. Hasta aqui hemos considerado un rayo luminoso en su paso de un medio raro á otro denso; pero la misma relacion constante de los senos tiene lugar en el paso contrario del rayo: porque los ángulos ACN, MCB (fig. 129) no mudan cualquiera que sea el rayo de incidencia AC ó BC. Si BC representa la velocidad del rayo incidente, CA representará la del rayo refracto; porque la velocidad del rayo que pasa de X á Z es retardada del mismo modo por la fuerza atractiva hácia el medio X, que es acelerada en el movimiento contrario.

1440. Supuesto que todas las moléculas de los cuerpos obran sobre el fluido luminoso, su fuerza refringente debe seguir la razon de su densidad, cuando la accion de cada molécula es la misma. Esto tiene lugar en el aire, en el vidrio comun, el cristal de roca, el sulfate de cal, etc.

Las diferentes moléculas de muchos cuerpos ejercen una accion diferente sobre el fluido luminoso, pero se pueden referir á diferentes clases, en cada una de las cuales la fuerza refringente de los cuerpos es proporcional á su densidad. Acabamos de indicar una de estas clases; los cuerpos combustibles forman otra, á la cual refiere *Newton*, el alcanfor, el aceite de olivas, el aceite de lino, el ambar, el azufre, el alcohol, el diamante. En todos estos cuerpos la fuerza refringente de todas sus moléculas es sensiblemente igual, pero mucho mayor que en la clase precedente.

Newton advierte que la fuerza refringente del agua tiene un medio entre la de los cuerpos de las dos clases; esto no admira en el dia que se sabe que el agua se compone de las bases de dos gases, de los que el uno, el gas oxígeno, es poco refringente, mientras que el otro, el gas hidrógeno, goza en sumo grado de la

combustibilidad, y por consiguiente de una grande potencia refractiva. Lo que hemos dicho en este capítulo nos suministra la esplicacion de los siguientes fenómenos.

1.° Un palo recto que se halle parte en agua, y con algo de obliquidad, parece roto; porque la parte sumergida es vista por rayos que ella refleja, y que antes de venir al ojo, pasan oblicuamente del agua al aire, es decir de un medio mas denso á otro mas raro; luego se apartan de la perpendicular á la superficie del agua; luego la parte de palo sumergida parece arrimarse á la superficie del agua, y por consiguiente parece formar un ángulo con la parte no sumergida, lo que hace que el palo parezca roto.

2.° Por las mismas razones, una pieza de plata metida en un vaso nos parece elevarse á medida que echamos en el vaso mayor cantidad de agua.

3.° La refraccion es tambien la que nos hace ver los astros mas arriba de lo que realmente estan.

CAPÍTULO II.

DE LA REFRACCION DEL FLUIDO LUMINOSO CUANDO LOS MEDIOS ESTAN SEPARADOS POR UNA SUPERFICIE PLANA.

1441. Las superficies que separan los medios pueden variar al infinito; fijarán esclusivamente nuestra atencion las que son planas ó esféricas. Los rayos pueden tambien variar al infinito; se examinarán esclusivamente los que son paralelos, diverjentes ó converjentes.

Entre los rayos converjentes ó diverjentes nos limitaremos en la consideracion de aquellos que estan poco apartados, es decir que pasando de un medio á otro ocupan un muy pequeño espacio en la superficie de los medios; si entre estos rayos hay uno que sea perpendicular á esta superficie, se dice que los rayos son rectos; en todo otro caso se dice que son oblicuos.

1442. Si rayos paralelos pasan de un medio cualquiera á otro

de diferente refranjibilidad, separados estos por una superficie plana, quedan aun paralelos porque son igualmente refrinjidos.

1443. Supóngase ahora que los rayos diverjentes RC, R*b*, R*a* saliendo del punto R, (fig. 130) atraviesan el medio Z separado por el plano ES del medio X mas refrinjente que el primero, el rayo RC que suponemos perpendicular á la superficie ES no se aparta de su direccion rectilínea sino que continua á moverse por CG. Los rayos R*b*, R*a* sufren una refraccion que es fácil determinar hácia las perpendiculares que concebimos tiradas sobre los puntos *b* y *a* de la superficie ES.

Sea RM un rayo que sale de R; ORC la perpendicular por el punto R á la superficie que separa los medios; se toma MO que sea á MR como el seno de incidencia es al seno de refraccion, es decir, como la cosecante de refraccion es á la cosecante de incidencia. Aplicando esta línea MO en el punto M en el ángulo MCR, se determina el punto O, del que se ha de tirar por M, la recta MN, que coincidirá con el rayo refrinjido; porque tirando por el punto M la YMV perpendicular sobre la línea ES, el ángulo de incidencia es VMR, y el de refraccion es YMN=VMO. Si del punto M tomado por centro, y siendo radio la línea MC concebimos que se describe un círculo, las líneas MO, MR son las cosecantes de los ángulos de refraccion y de incidencia, de que resulta que MN es el rayo refrinjido.

Discurriendo del mismo modo se determinará la refraccion de los rayos diverjentes que son directos y poco esparramados tales como RC, R*b*, R*a*; porque si se supone R*a*, *ra* en la misma razon de las cosecantes, *a*A será el rayo refrinjido; pero por la suposicion la línea C*a* es muy corta, por lo que R*a*, RC de la misma manera que *ra*, *r*C no se diferencian sensiblemente: asi RC, *r*C estan en la misma razon de las cosecantes, y de consiguiente el rayo R*b*, de la misma manera que los otros rayos poco esparramados, son refrinjidos como si saliesen del mismo punto *r*, y este punto *r* es el foco imaginario de los rayos refrinjidos.

1444. Síguese de esto que cuando los rayos pasan de un medio menos refrinjente á otro mas refrinjente, los rayos diverjentes

se hacen menos diverjentes, y la distancia del punto luminoso á la superficie, es á la distancia del foco imaginario como el seno de refraccion es al seno de incidencia.

Se determina del mismo modo la refraccion de los rayos converjentes. Sea PQ (fig. 130) un rayo que suponiendo los mismos medios Z y X, es dirigido al punto dicho f; haciendo pasar por el punto f la línea TfDH perpendicular á la superficie que separa los medios, si QT es á Qf como la cosecante de refraccion es á la cosecante de incidencia, QT será el rayo refrinjido. Esto resulta evidentemente de lo que se ha demostrado en el capítulo precedente.

1445. Síguese de aqui que rayos rectos poco distantes y converjentes, pasando de un medio á otro mas refrinjente, salen menos converjentes. Rayos tales como Ii, Ll, HD, que se dirigen al foco imaginario f se reunen en el foco verdadero F, que está mas lejos; es fácil convencerse de esto discurriendo del mismo modo que para los rayos diverjentes.

Estos rayos se mueven por las mismas líneas cualquiera que sea su punto de salida. Asi, por lo que se ha demostrado del movimiento de los rayos en su paso de un medio menos refrinjente á otro mas refrinjente, es fácil deducir lo que se refiere al movimiento contrario.

1446. Los rayos que salen del punto F (fig. 130) y que diverjen en un medio mas refrinjente X, se mueven en un medio menos refrinjente Z, como si partieran del punto f, es decir, que se hacen mas diverjentes. Los rayos converjentes que se dirigen al punto r se reunen en el punto R y se hacen mas converjentes.

Si estos rayos estan muy dispersos no se reunen en el mismo punto; pero se concibe un pequeño espacio por el que pasan los rayos, el que es tanto mayor cuanto los rayos son mas dispersos.

Todo lo que se ha dicho hasta aqui tiene por objeto los rayos rectos diverjentes ó converjentes. En cuanto á los rayos oblicuos siendo de mas difícil indagacion, seria demasiado larga para una obra elemental.

CAPÍTULO III.

DE LA REFRACCION DEL FLUIDO LUMINOSO CUANDOS LOS MEDIO ESTAN SEPARADOS POR UNA SUPERFICIE ESFÉRICA.

1447. Sean Z y X dos medios separados por una superficie esférica MB*b*, que tiene su centro en C (fig. 131, 132, 133, 134). El medio Z se supone menos refrinjente que el segundo.

Un rayo incidente que pasa por el centro ó que pasaria por él si se prolongara, no se desvia de su direccion rectilínea; porque se ha visto que una superficie esférica puede mirarse como formada de una infinidad de pequeños planos que son perpendiculares á las estremidades de los diámetros: de que resulta que los ángulos de incidencia y de refraccion son los que los rayos incidentes ó refrinjidos forman con estas líneas.

1448. Sea NM un rayo incidente: para hallar el rayo refrinjido, tírese CM por el centro C y BCD paralela al rayo NM; tómese el punto *d* á voluntad y aplíquese en el ángulo MC*d* la línea *dm*, la que sea á *d*C como el seno de incidencia es al seno de refraccion; el rayo refrinjido MD será paralelo á *md*.

MC forma con MD, por un lado un ángulo obtuso, y por el otro un ángulo agudo. Cuando *dm* es mayor que *d*C se aplica en el ángulo obtuso; en el caso contrario sirve el ángulo agudo: esto sucede siempre en el paso de un medio mas refrinjente á otro menos refrinjente. Si en este caso la línea *dm* no es bastante larga para poder ser aplicada al ángulo, la refraccion es imposible, y el rayo no pasa al medio menos refrinjente. En este caso, si conociendo el ángulo de incidencia, se busca por el cálculo el ángulo de refraccion, se halla que es mayor que el ángulo recto, de que se sigue que la refraccion es imposible.

Sentado esto, por la construccion *md* es á *d*C como el seno de incidencia es al seno de refraccion: por lo que MD es el rayo refrinjido, si MD es á DC como el seno de incidencia es al seno de refraccion; mas esta proporcion tiene lugar, porque en todo triángulo los senos de los ángulos son proporcionales á los lados

opuestos, y un ángulo cualquiera tiene el mismo seno que su suplemento. En el triángulo pues MDC los lados MD, DC son entre si como los senos de los ángulos MCD ó MCB y CMD. Estos senos son de consiguiente como el seno de incidencia es al seno de refraccion; mas el ángulo MCB es igual al ángulo de incidencia: luego CMD es el mismo ángulo de refraccion, ó su suplemento.

Cuando el punto D cae en el medio en que se ha supuesto el rayo incidente, como sucede cuando la convexidad de la separacion es de parte del medio mas refrinjente, en este caso no es la línea DM, sino su prolongacion el rayo refrinjido.

1449. De esto es fácil deducir de qué modo rayos rectos paralelos poco dispersos son refrinjidos, atravesando medios separados por una superficie esférica.

Porque el rayo AB no se desvia de su camino rectilíneo; *ab* es refrinjido y se convierte en *b*F, ó *bf*, y *b*F es á FC como el seno de incidencia es al seno de refraccion. Pero siendo muy pequeña B*b*, las líneas BF y *b*F son sensiblemente iguales: de que se sigue que si se determina el punto F de modo que BF sea á FC como el seno de incidencia es al seno de refraccion, F será el foco ó el punto de dispersion de todos los rayos refrinjidos paralelos á AB, y que le rodean á una pequeña distancia. Estos rayos refrinjidos son converjentes cuando la convexidad de la separacion está en la parte del medio menos refrinjente: en este caso concurren en F. En la disposicion contraria de la superficie son diverjentes y se mueven como si partiesen de F.

Si se quiere examinar separadamente todos los casos de refraccion sin determinarla exactamente, basta considerar si la refraccion sucede hácia la perpendicular ó no, y en este caso es fácil descubrir las siguientes propiedades.

1450. Cuando el fluido luminoso atraviesa dos medios de diferente densidad y separados por una superficie esférica, cuya convexidad está vuelta hácia el primer medio, se obtienen siempre los siguientes resultados.

1.° Los rayos paralelos se hacen converjentes.

2.° Los rayos diverjentes cuando el punto luminoso está bastante lejos, se hacen tambien converjentes, pero si el punto luminoso se aproxima, el foco se aleja, y alejándose el punto luminoso el foco se aproxima.

3.° El punto luminoso puede aproximarse de tal modo á la superficie que separa los medios que el foco se aleje á una distancia infinita, es decir, que los rayos refrinjidos salgan paralelos.

4.° Si el punto luminoso se aproxima mas, los rayos refrinjidos saldrán diverjentes, pero menos que los rayos incidentes.

5.° Si los rayos incidentes son converjentes y tienden al centro de la superficie esférica, no sufren refraccion alguna.

6.° Si se dirijen á otro punto refrinjiendo estos rayos hácia la perpendicular, se doblan de modo que el foco de estos rayos converjentes está siempre entre el centro de la superficie que separa los medios á que se dirijen todas las perpendiculares, y el punto á que tienden los rayos incidentes; es decir, si el foco imaginario de los rayos incidentes se fija á una distancia menor que el centro, los rayos refrinjidos son menos converjentes. Si el foco imaginario se fija mas allá del centro, los rayos refrinjidos serán mas converjentes.

1451. Supóngase ahora que la convexidad de la superficie esférica esté del lado del medio mas refrinjente, y que el fluido luminoso pase como antes del medio menos refrinjente á otro mas refrinjente, se deducen los resultados siguientes del mismo modo, considerando que la refraccion se hace hácia la perpendicular.

1.° Los rayos paralelos se hacen diverjentes.

2.° Si los rayos son diverjentes y el punto luminoso se supone en el centro de la superficie que separa los medios, los rayos no son doblados por la refraccion.

3.° Si el punto luminoso está menos lejano de la superficie, los rayos refrinjidos serán menos diverjentes; pero si el punto luminoso está mas lejos de la superficie que el centro, los rayos refrinjidos serán mas dispersados que los incidentes.

4.° Si los rayos son converjentes, y el foco imaginario se halla en el medio mas refrinjente á una pequeña distancia de la su-

perficie que separa los medios, los rayos refrinjidos salen tambien converjentes; pero menos que los incidentes.

5.º Si el foco imaginario de los rayos incidentes se aleja mas, es decir, si los rayos son menos converjentes, los rayos refrinjidos serán tambien menos converjentes, hasta tanto que por la distancia del foco imaginario los rayos refrinjidos salgan paralelos.

6.º En una mayor distancia del foco imaginario los rayos refrinjidos se hacen diverjentes.

1452. Por lo que respeta al paso de un medio mas refrinjente á otro que lo es menos se determina del mismo modo. Si la convexidad de la superficie está vuelta hácia al lado menos refrinjente, se hallan los siguientes resultados:

1.º Los rayos paralelos despues de la refraccion se unen en un foco.

2.º Los rayos que salen del punto luminoso se reunen tambien en el foco: aproximándose al punto luminoso, el foco se aleja y recíprocamente.

1453. Se puede disponer el punto luminoso de modo que el foco esté á una distancia infinita, es decir, de modo que los rayos refrinjidos sean paralelos.

Si el punto luminoso se aproxima mas, los rayos refrinjidos son diverjentes, pero menos diverjentes que los incidentes, cuando el punto luminoso está mas lejos de la superficie que el centro.

Pero si el punto luminoso se halla entre la superficie y el centro, los rayos refrinjidos serán mas diverjentes.

Si los rayos son converjentes en todos los casos salen mas converjentes.

1454. Falta considerar los rayos que pasan de un medio mas refrinjente á otro que lo sea menos, suponiendo la superficie cóncava vuelta hácia al lado menos refrinjente.

Si estos rayos son paralelos, se hacen diverjentes por la refraccion.

Si salen del punto luminoso se hacen mas diverjentes; y á medida que el punto luminoso se aproxima, van saliendo mas y mas diverjentes.

Los rayos converjentes que van al centro de la superficie esférica no sufren variacion alguna.

Si son mas ó menos converjentes, el foco imaginario de los incidentes se halla siempre entre el centro de la superficie que separa los medios, y el foco de los rayos refrinjidos que puede alejarse al infinito, de modo que los rayos refrinjidos sean paralelos.

Todo lo que se acaba de decir se refiere esclusivamente á los rayos rectos.

CAPÍTULO IV.

DEL MOVIMIENTO DEL FLUIDO LUMINOSO AL TRAVES DE UN MEDIO MAS REFRINJENTE, Y EN QUE SE TRATA DE LAS LENTES.

1455. El vidrio es mas denso que el aire, y mas refrinjente en razon de su densidad. Segun sean las superficies que terminan un vidrio, el movimiento del fluido luminoso que le atraviesa sufre diferentes alteraciones que es necesario determinar. Para llegar á este fin es menester considerar los vidrios rodeados de un medio menos refrinjente, tal como el aire, y terminados por diferentes superficies. No considerando mas que las superficies planas y esféricas se hallan de seis clases diferentes.

1.° Un vidrio ó un medio cualquiera puede ser plano de los dos lados; 2.° plano de un lado y convexo del otro; 3.° convexo de los dos lados; 4.° plano de un lado y cóncavo del otro; 5.° cóncavo de los lados; 6.° cóncavo de un lado y convexo del otro.

Si se trata de un vidrio de poco espesor, en los cinco últimos casos toma el nombre de *lente de vidrio.* En el segundo caso la lente se llama *plano-convexa*; en el tercero *bi-convexa*, ó solamente *convexa*; en el cuarto *plano-cóncava*; en el quinto *cóncava*; y en fin en el sexto *cóncavo-convexa*, ó *menisco*. En general siempre la superficie que pertenece á una menor esfera es la que da el nombre á la lente.

1456. En toda lente el eje es la línea recta que es perpendicu-

lar á las dos superficies. Cuando las dos superficies son esféricas el eje pasa por los centros de las dos; pero si se supone una plana, el eje le es perpendicular y pasa por el centro de la otra.

1457. Las lentes regulares son orbiculares, y el eje pasa por el centro de la lente.

1458. Cuando dos rayos de luz atraviesan un medio terminado por dos superficies planas paralelas su direccion no muda. Esto sucede en los vidrios planos.

1459. Lo que se va á decir del paso del fluido luminoso al traves de las lentes, se refiere esclusivamente á los rayos rectos, y poco dispersos.

1460. Los rayos de luz que pasan al traves de una lente convexa se doblan los unos hácia los otros, y esto tanto mas cuanto mayor es la convexidad; al contrario los rayos que pasan por una lente cóncava, estos se separan los unos de los otros en razon de la mayor concavidad.

La razon está en que los rayos que pasan al traves de un vidrio plano no mudan de direccion, pero si la una de las superficies, ó las dos se hacen curvas los rayos mudan de direccion: se encorvan hácia el eje de la lente por la convexidad de la superficie del vidrio, y se apartan del eje por la concavidad. Todo lo que sucede en estos casos es evidente, si se compara la inflexion sobre una superficie plana perpendicular al eje con la reflexion sobre una superficie esférica; y la diferencia de estas inflexiones, es decir, la variacion de direccion de los rayos, aumenta con la distancia al eje.

De este principio es fácil deducir las propiedades de las lentes.

1.° Rayos paralelos que pasan por una lente convexa se unen en el foco.

2.° Rayos diverjentes salen menos diverjentes ó paralelos, ó se hacen converjentes; en este caso si el punto luminoso se aparta, el foco se aproxima y recíprocamente. Esto sucede cuando el punto luminoso está mas lejos de la lente que el foco de rayos paralelos.

3.° Los rayos converjentes se hacen mas converjentes al salir de la lente.

Del mismo principio se deducen las propiedades de las lentes cóncavas.

1.° Los rayos paralelos se hacen diverjentes pasando por una lente cóncava.

2.° Los que son diverjentes se ponen mas diverjentes.

3.° Los rayos converjentes salen algunas veces menos converjentes: en este caso si la converjencia de los rayos incidentes disminuye, podrán ser dirigidos de modo que al salir sean paralelos; pero si los incidentes son poco converjentes al salir se dispersarán.

1461. Si se dispone una lente convexa de modo que su eje pase por el sol, los rayos emanados de este astro se reunen en un pequeño espacio, despues de haber atravesado la lente, la que en este caso es una lente ustoria.

Esperimento. Sea una lente convexa de dos decímetros (cerca 7 pulgadas) de diámetro puesta de modo que uno de los rayos del sol coincida con su eje; si reune á un metro (cerca 3 pies 11 líneas) de distancia los rayos paralelos que salen de todos los puntos del sol, y á esta distancia se le presenta un cuerpo combustible sobre el que caiga la imágen solar, al instante se inflama; pero si esta imágen no es muy pequeña sea por razon de la magnitud del sol, ó por el grandor de la lente, la imágen es imperfecta. Sè disminuye este espacio en que se efectúa la combustion por el medio de una segunda lente convexa la que pone los rayos mas converjentes. Esta segunda lente es absolutamente necesaria cuando la primera tiene 6 ó 7 decímetros (2 ó 3 pulgadas) de diámetro. Por este medio se da al foco una grande actividad.

Trudaine hizo construir en Paris una lente formada de dos segmentos que tienen 2597 milimetros (8 pies) de rayo. Se reunieron artificiosamente y se llenó de alcohol el intervalo que dejan entre sí. Esta lente está montada sobre un carreton de un modo que se puede mover en todas direcciones á fin de seguir las diferentes posiciones del sol. El foco que tiene 33 milímetros (15 líneas) de diámetro está á 3571 milimetros (11 pies) del centro. El hierro, la plata, el oro se funden en el foco casi súbitamente.

CAPÍTULO V.

DE LA REFRACCION ASTRONÓMICA.

1462. La refraccion astronómica es la mutacion de direccion que sufren los rayos emanados de los cuerpos celestes cuando atraviesan nuestra atmósfera; lo que hace que los astros parecen mas elevados encima del horizonte de lo que lo son realmente.

Observaciones hechas con la mayor precision no dejan duda alguna de la existencia de la refraccion astronómica. La mas simple de todas estas observaciones consiste en que el sol y la luna se levantan mas pronto y se ponen mas tarde de lo que debe suceder segun las tablas, pareciendo aun sobre el horizonte en tiempo en que deben estar debajo.

1463. Los cuerpos celestes se nos hacen visibles por los rayos que nos envian. Antes que estos lleguen á nuestros ojos deben atravesar la atmósfera la que se compone de capas fluidas, cuya densidad va aumentando hasta la superficie de la tierra. Estos rayos saliendo de un èspacio vacío ó lleno de un medio mucho mas raro que el aire, y cayendo sobre la superficie de la atmósfera se aproximan á la perpendicular. La densidad de las capas atmosféricas que estos rayos atraviesan aumenta sucesivamente; por lo que los rayos de luz van siempre encorvándose al paso que adelantan hasta que llegan al ojo formando una curva cuya concavidad está vuelta hácia la tierra; y como referimos siempre los objetos al estremo del rayo visual prolongado en línea recta, es claro que el astro se juzgará en el estremo de la tangente de esta curva en el punto que el rayo hace su impresion en el ojo del observador: de que se sigue que por el efecto de la refraccion los astros deben parecernos mas cercanos del zenit de lo que realmente estan, y de consiguiente que para reducir las alturas aparentes de los astros á las verdaderas es menester sustraer la cantidad de la refraccion.

Síguese de lo que se acaba de establecer que jamas vemos el

verdadero orto ni ocaso del sol. Solo percibimos su imágen, porque este astro se halla entonces sumerjido bajo del horizonte.

1464. Los astros que se hallan en el zenit no esperimentan refraccion alguna. Los que se hallan en el horizonte sufren la mayor refraccion posible. La refraccion disminuye continuamente desde el horizonte hasta el zenit; y esto sucede porque en el primer caso los rayos son perpendiculares, y oblicuos en el segundo, cuya obliquidad va siempre disminuyendo en el tercero.

1465. El sol y las estrellas sufren la misma refraccion cuando estan igualmente elevados encima del horizonte; porque los rayos incidentes tienen las mismas inclinaciones en alturas iguales; pero los senos de los ángulos de refraccion son á los senos de los ángulos de incidencia en una razon constante: luego etc.

1466. *Ticho Brahe* quien fue el primero que de sus observaciones dedujo las refracciones del sol, de la luna, y de las estrellas fijas, puso las refracciones solares mucho mayores que las de las estrellas fijas, y las refracciones de la luna algunas veces mayores, otras menores que las de las estrellas.

1467. *La Hire* dió una tabla de refracciones de los cuerpos celestes en sus diferentes grados de elevacion, fundado en observaciones precisivas.

1468. *Bouguer* modificó despues la tabla de *La Hire*, de que resultó una nueva tabla, la que esperimentará sin duda nuevas modificaciones, hasta que se puedan apreciar con exactitud todos los elementos que concurren en la produccion de las refracciones astronómicas.

1469. Se sabe por exactos esperimentos que dada la misma temperatura, la fuerza refrinjente del aire es en razon directa de su densidad. Pero dada la misma densidad, ¿esta fuerza varia con la temperatura? ¿El estado higrométrico del aire tiene algun influjo en las refracciones atmosféricas? Tales son las cuestiones que importa resolver para medir con una cierta precision las refracciones astronómicas. *Mr. Laplace* ha respondido á ellas en su *mecanica celeste* y en su *esposicion del mundo*.

Hace ver 1.° que el influjo de la humedad sobre las refrac-

ciones es del todo insensible, porque si el poder refrinjente del vapor acuoso es mayor que el del aire, este esceso es compensado exactamente por su densidad que es menor.

2.° Demuestra la inexactitud de todas las leyes propuestas hasta aqui para determinar la disminucion que esperimenta el calor á medida que uno se eleva en la atmósfera; da otra en la que se sujeta á representar á la vez las observaciones de las refracciones, las del barómetro sobre los montes, y los esperimentos hechos directamente sobre esta disminucion en los viages aerostáticos.

3.° Considera al principio la refraccion cuando la altura aparente de los astros escede á doce grados; y prueba que no depende entonces sino del estado barométrico y termométrico en el lugar del observador; lo que le conduce á un método simple para construir una tabla de refracciones desde doce grados de altura aparente hasta al zenit, intervalo en el que se hacen casi todas las observaciones astronómicas.

4.° Hace ver que debajo de doce grados de altura aparente importa cuidar mucho de las variaciones de densidad y de temperatura de las diferentes capas atmosféricas que el rayo atraviesa; y la solucion de este problema le da lugar á desplegar procederes analíticos muy ingeniosos.

CAPÍTULO VI.

DE LA VISION.

PARRAFO PRIMERO.

Descripcion del ojo y de las imágenes que en él se forman.

1470. El ojo se compone principalmente de tres capas llamadas *membranas* ó *túnicas*. La primera y esterior EDNNDE (fig. 135) se llama *córnea*; su figura es esférica, y la parte DED, que es un segmento de una esfera menor que lo restante, tiene toda la transparencia de una lámina de cuerno muy fina.

La segunda PIIP se llama *esclerotica*, tiene una abertura PP llamada *prunela*, la que está rodeada de una especie de cortina negra, gris ó azulada que se llama *iris*. El iris conserva siempre la forma circular á la prunela, sea que esta se dilate cuando el ojo entra en la oscuridad, sea que se constriña cuando el ojo se espone á una luz mas viva, (estos dos movimientos se hacen involuntariamente).

La tercera membrana CBsBC se llama *choroide*; es un tapis felpudo y embebido de un licor muy negro, el que sirve por consiguiente á hacer del ojo una cámara oscura. Esta absorve los rayos cuya refraccion se hace irregular en el ojo.

Está adherida á la choroide debajo de la prunela una especie de lente CC que se llama el *cristalino*. Su convexidad es de un menor radio en su parte anterior; está detenido por dos músculos BC, BC llamados *ligamentos ciliares*, los que tirándole de C hácia B, disminuyen su convexidad segun las circunstancias lo exijen. Estos músculos pueden servir tambien para mover el cristalino hácia adelante y atras.

En el fondo del ojo, hácia HH hay una especie de red de una blancura que deslumbra y sumamente fina, la que se llama *retina* y se estiende encima la *choroide*.

En el espacio que separa la córnea del cristalino se halla un licor muy limpio y transparente en el que nada el iris, y se llama *humor acuoso*. Entre el cristalino y el fondo del ojo hay una sustancia muy transparente, y de consistencia como de gelatina la que se llama *humor vitreo*.

1471. Cuando los rayos de luz entran en el ojo refrinjen penetrando el humor acuoso, de modo que el seno de incidencia es al seno de refraccion como 4 á 3; refrinjen tambien un poco al entrar y salir del cristalino: porque en el paso del humor acuoso al cristalino la razon de los senos es como 13 á 12, y en la entrada del humor vítreo como 12 á 13. Todas estas refracciones tienen por objeto el reúnir todos los rayos que han salido del mismo punto del objeto, y formar de consiguiente una imágen que hace ver distintamente el objeto, cuando está formada sobre la retina; pero

confusamente cuando se forma antes ó tiende á formarse despues.

1472. Para concebir mas claramente la formacion de las imágenes, importa notar que cada punto del cuerpo lúcido es el vértice de una pirámide luminosa cuya base se halla en la prunela. Las refracciones que los rayos sufren en el ojo hacen converjer los rayos que antes eran diverjentes, de manera que se forma otra pirámide luminosa de que la prunela es tambien la base, y cuyo vértice se halla en el fondo del órgano en donde los rayos forman por su concurso una imágen sensible del punto de que han salido. Sentado esto, 1.° si el punto luminoso está situado en uno de los puntos del eje óptico del ojo, es decir, en uno de los puntos de una recta que cayendo perpendicularmente sobre el ojo, pasa por su centro, por ejemplo, el punto R (fig. 135), su imágen se hallará en uno de los puntos del mismo eje, como en *r*; la imágen del punto Q se hallará en el punto *q* del eje Q*q*, y la del punto S en el punto *s*: de que se sigue evidentemente que la imágen de un objeto se halla en el ojo en una situacion inversa, como se ha dicho, (núm. 1310). 2.° Se forman dos pirámides luminosas opuestas por el vértice que se halla en el centro de la prunela; la pirámide esterior tiene por base la superficie entera del objeto, al paso que la base de la pirámide interior es la imágen entera del objeto, y esta imágen hace nacer la idea de la presencia y de la figura del objeto.

§ II.

De la vision distinta y confusa, y de los medios de corregir algunos defectos de los ojos.

1473. Pues que todos los rayos luminosos que salen de un mismo punto del objeto van á reunirse en el mismo lugar despues de haber atravesado una lente convexa, es claro que si estos rayos son interceptados por un plano mas acá ó mas allá del punto de reunion, se formará sobre este plano una imágen de este punto, la que tendrá tanta mayor estension y será tanto menos viva

cuanto mas lejos se tome del foco de la superficie refrinjente: de que se sigue que la imágen del punto B, por ejemplo, que está inmediato al punto A, se confundirá en parte con la de este punto, de modo que si estos dos puntos son de diferentes colores, la imágen compuesta de estas dos imágenes, será de tres colores; y de consiguiente no se parecerá al objeto ni en sus dimensiones, ni en su figura, ni en su color, ni en claridad. Pero si el plano intercepta los rayos luminosos en el punto de concurso, la imágen del punto A será un punto perfectamente distinto de la imágen del punto B. La vision distinta de un objeto es pues aquella en que los rayos luminosos dan en la retina en el verdadero punto de reunion; y la vision confusa aquella en que el rayo llega á la retina antes ó despues de esta reunion.

Ademas la imágen viva y distinta de un objeto producida por medio de una superficie convexa refrinjente está en el eje que pasa por el objeto y por el centro de esferoicidad de la superficie: de que se sigue evidentemente que no se pueden ver distintamente los objetos sino cuando se ha dirigido hácia él el eje ó la recta que pasa por el centro del ojo y por el de la prunela.

1474. Si un objeto colocado á una cierta distancia de una superficie refrinjente convexa de una esferoicidad constante y posicion fija se aproxima á esta superficie, su imágen se aleja; y es claro que para que la imágen quede en el mismo lugar es menester ó alejar la superficie refrinjente, á medida que el objeto se aproxima, ó bien disminuir proporcionalmente el diámetro de la esferoicidad de la superficie. Esto es lo que sucede á los que tienen muy buena vista. Sus ojos son de tal modo conformados y tan libre el juego de sus partes, que cuando los rayos luminosos salidos de un mismo punto de un objeto entran en la prunela casi paralelos entre sí, el punto de reunion de estos rayos se hala precisamente en la retina; y cuando el objeto se aproxima á los ojos de modo que los rayos luminosos que salen de uno de estos puntos entren sensiblemente diverjentes, entonces el espectador puede conformar sus ojos á cada nueva distancia del objeto, de modo que la imágen se forme siempre en la retina, sea que

para esto aproxime proporcionalmente su cristalino ó su córnea hácia la prunela, sea que los vuelva mas convexos, sea en fin que emplee á un tiempo los dos medios reunidos para ver siempre distintamente los objetos á cualquiera distancia que se hallen, con tal que no sea ni demasiado grande ni demasiado pequeña.

Pero si los músculos del ojo no tienen ni la fuerza ni el resorte necesario para mudar su figura, no se pueden ver distintamente mas que los objetos situados á una distancia encerrada entre determinados límites, mas ó menos estendidos, segun la fuerza con que el ojo puede cambiar su conformacion, para hacer caer las imágenes sobre la retina. Por ejemplo, si el cristalino es demasiado convexo, el verdadero lugar de las imágenes de los objetos muy lejanos está muy cerca del cristalino, y de consiguiente antes de llegar á la retina; por lo que en este caso no se pueden ver los objetos sino muy confusamente, y es menester aproximarlos mucho para que sus imágenes se alejen á proporcion y puedan formarse sobre la retina. Este es el defecto de los que tienen la vista corta, á quienes se les llama *miopes*.

1475. Son pues los miopes aquellos que no pueden ver sino objetos que envien al ojo rayos sensiblemente diverjentes. Estos podrán ver distintamente los objetos lejanos por el ausilio de un medio cualquiera que aumente sensiblemente la diverjencia de los rayos. Las lentes cóncavas ofrecen este socorro.

1476. Si el rayo de convexidad es demasiado grande no se podrán ver distintamente mas que los objetos lejanos. Los que padecen este defecto se llaman *presbites*. Tales son la mayor parte de viejos, en quienes la edad quitando los humores ha disminuido la convexidad del cristalino.

1477. Los presbites son pues aquellos que no pueden ver distintamente sino los objetos que envian rayos sensiblemente paralelos; estos verán distintamente los objetos poco lejanos con el ausilio de un medio cualquiera que disminuya la diverjencia de los rayos. Las lentes convexas sirven á este fin.

1478. Es evidente que las lentes cóncavas ó convexas serán igualmente dañosas á los que no tienen vicio en la estructura del

ojo, porque disminuirian ó aumentarian la diverjencia de los rayos, y pondrian el punto de reunion mas cerca ó mas lejos del cristalino de lo que es la retina.

1479. Los vidrios planos no aumentan ni disminuyen la diverjencia de los rayos. Si se les da un color un poco oscuro pueden servir útilmente para aquellos cuyo órgano de la vision no tiene otro defecto que el de ser demasiado afectado por la luz. Estos vidrios planos se llaman *lentes conservatorias*.

CAPÍTULO VII.

DE LOS TELESCOPIOS, MICROSCOPIOS, etc.

1480. Los telescopios y los microscopios son instrumentos que sirven, 1.° para formar una imágen viva de un objeto que se quiere ver distintamente, presentándole una lente convexa de dos lados ó plano-convexa, ó bien cavo-convexa, ó tambien un espejo cóncavo; la lente ó el espejo lleva el nombre de *objetivo:* 2.° para ver distintamente y aun para amplificar esta imágen por medio de uno ó muchos otros vidrios que se colocan por la parte del ojo, los que por este motivo se llaman *oculares*.

1481. Hay pues dos especies de telescopios. Unos se construyen simplemente con lentes; y estos se llaman *telescopios de refraccion* ó *telescopios dióptricos*. Los otros ofrecen en su construccion una reunion de lentes y de espejos. Estos tienen el nombre de *telescopios de reflexion* ó *telescopios catadióptricos*. Sucede lo mismo con los microscopios.

1482. Todo el espacio visible por un ojo colocado en el punto en que debe hallarse para sentir todo el efecto del telescopio ó del microscopio se llama *campo* del telescopio ó del microscopio.

1483. Cuando en lo sucesivo se tratará del foco de un vidrio ó de un espejo, se supondrá siempre el objeto de que emanan los rayos, colocado á una distancia bastante grande para que los rayos sean paralelos.

PARRAFO PRIMERO.

De los telescopios de refraccion.

1484. Se construyen generalmente tres especies de telescopios de refraccion ó sin espejo. Se diferencian entre sí por la figura, la posicion y el número de oculares.

Del telescopio de Galileo.

1485. La primera especie de telescopios conocida bajo el nombre de *telescopio de Galileo*, tiene por ocular una lente cóncava ó plano-cóncava PQ (fig. 136) colocada entre el objetivo MN y su foco *o*, de modo que los ejes de los dos vidrios coincidan con una misma recta A*o* y sus focos en el mismo punto *o*.

Segun esta construccion es claro, 1.º que siendo la superficie del objetivo mucho mayor que la abertura de la prunela, puede caer sobre él una cantidad de rayos salidos de un mismo punto de un objeto mucho mayor que la que podria entrar en el ojo; 2.º que el objeto considerándose como infinitamente distante, los rayos incidentes y paralelos tales como AD, etc. que por la refraccion que han sufrido al atravesar el objetivo MN, converjerian en el punto *o*, vuelven á su paralelismo despues de haber atravesado el ocular; mas que estando el ocular colocado en el vértice *o* del cono de los rayos reunidos por el objetivo, y los rayos siendo muy densos en el vértice son tambien muy densos al salir del ocular; 3.º que si al salir estos rayos del ocular son recibidos por un ojo de escelente vista, ó por un ojo presbito, deben formar en él una imágen del punto del objeto de que han salido, la que es tanto mas viva cuanto el hacecillo de rayos que sale del ocular es mas denso de lo que era al encontrar el objetivo, y la abertura del objetivo es mayor que la de la prunela.

En cuanto á los puntos B del objeto OB, que se hallan situados fuera del eje A*o* del telescopio, es claro que envian rayos paralelos, tales como CD etc. que el objetivo procura reunir en el punto *b* próximo al punto *o*, y los que hallando el ocular PQ

salen de él sensiblemente paralelos y muy densos, de modo que un ojo bien conformado ó tambien un ojo presbito debe formar una imágen muy viva del punto B; pero el hacecillo que forma esta imágen, apartándose al salir del ocular del hacecillo que forma la del punto *o*, el mismo ojo no puede recibir á un tiempo las dos imágenes, á no ser que su prunela sea abierta y bastante próxima del concurso F de las direcciones de estos dos manojos: de que resulta que observando un objeto por medio del telescopio se ve un número de estas partes tanto mayor cuanto el ojo está mas cerca del ocular, y la abertura de la prunela siendo naturalmente muy pequeña, independientemente de la contraccion involuntaria que sufre á medida que los rayos la penetran, es claro que el campo de esta suerte de telescopios disminuye á proporcion que el objeto es mas luminoso, y que el ocular es de mayor foco. No permitiendo en fin la naturaleza del fluido luminoso emplear oculares de un tan pequeño foco como es de desear, por haber de ser los focos de los oculares mas largos á proporcion de la longitud de los focos del objetivo, como se verá despues, síguese que el campo de esta especie de telescopios es tanto mas pequeño cuanto mas largo es el telescopio. Este inconveniente es el que ha hecho despreciar su uso para los objetos muy lejanos, los que de consiguiente exijen largos telescopios. En el dia no se construyen telescopios de esta especie sino muy cortos á fin de no amplificar demasiado los objetos. Tales son los que se conocen con el nombre de *anteojos de teatro*.

Es fácil ver que los objetos observados por medio del telescopio deben parecer derechos; porque el manojo *c* de rayos por medio del que se ve la estremidad B del objeto que está debajo del eje AK, es tambien recibido por el ojo en una direccion *c*F que viene de debajo del eje.

Si se supone que el eje se aproxima mas y mas al objetivo, es evidente que su imágen se alejará de él proporcionalmente, y de consiguiente que es menester alejar tambien el ocular, prolongando el anteojo á fin de que su foco concurra siempre con la imágen formada por el objetivo.

Si el ojo aplicado en el ocular es miope es necesario aproximar el ocular hácia el objetivo, á fin que la vision sea distinta; porque en este caso el hacecillo de rayos que salian del ocular paralelos entre sí, sale diverjente; pues que á medida que el objeto *bo* se aleja del foco del vidrio cóncavo, los rayos refrinjidos converjen hácia la parte opuesta, y diverjen de consiguiente por el lado en que está el objeto *bo*, es decir del lado en que está colocado el ojo.

Del telescopio astronómico.

1486. El segundo modo de construir telescopios fue inventado por *Keplero*, el que es conocido con el nombre de *telescopio astronómico*, porque es casi esclusivamente aplicado para la observacion de cuerpos celestes. Este telescopio tampoco tiene mas que un ocular que es una lente PQ convexo-convexa (fig. 137). Está situada de manera que su foco *o* coincide con el del objetivo MN; pero el foco comun se halla entre los dos vidrios.

Con esta construccion es claro, 1.º que los rayos tales como AD y sus dos paralelos salidos del punto O de un objeto OB infinitamente lejano, habiendo atravesado el objetivo, van cruzándose en su foco, á formar una imágen *o* del punto O, suponiendo que este punto se halla en la recta que pasa por el centro de los dos vidrios, la que se llama el *eje del telescopio.*

2.º Que esta imágen puede ser mirada como un objeto situado en el foco del ocular PQ, y de consiguiente los rayos que la han formado, viniendo á dar sobre el ocular deben salir de él paralelos entre sí, pero tanto mas densos cuanto el foco del ocular es mas corto que el del objetivo: deben pues formar en un ojo presbito ó en un ojo bien conformado, una nueva imágen del punto O, tanto mas viva como la superficie del objetivo será mayor ó que admita mas rayos luminosos.

3.º Que á cualquiera distancia del ocular que el ojo esté colocado, con tal que esté en la direccion del hacecillo de rayos paralelos que de él sale, debe ver igualmente bien la imágen que el manojo ha formado en el foco comun del objetivo y del ocular.

4.° Que los rayos paralelos salidos de la estremidad B del objeto OB, deben formar en *b*, cerca del foco *o* una imágen de esta estremidad, y que cayendo despues sobre el ocular deben salir de él paralelos entre sí; pero tanto mas inclinados al eje AF, cuanto mayor es la curvatura del ocular, de modo que el eje del manojo que forman debe ir á cortar el eje comun de los dos vidrios en el foco F del ocular: de que resulta que para que un ojo pueda ver toda la imágen *ob* á un tiempo es menester que esté colocado en el punto F, es decir en el punto en que se cortan todos los hacecillos de rayos venidos de cada punto de la imágen *ob*, ó del objeto OB.

5.° Que el objeto OB debe parecer al reves, pues que su imágen *ob* que se ve por medio del ocular tiene una situacion opuesta á la del objeto; y que se ve la estremidad *b* por rayos que se separan del eje, inclinándose arriba, al paso que el punto B está debajo.

6.° Que la magnitud del campo de este telescopio depende principalmente de la magnitud de todo el espacio hácia *ob*, el que puede juzgarse en el foco comun de los vidrios; pues que el ojo colocado en el punto F, puede ver todos los puntos cuya imágen está en el foco ó muy cerca del foco del ocular; esta ventaja es la que ha hecho preferir este telescopio al de la primera especie.

7.° Que si el objeto se aproxima poco á poco al objetivo su imágen se aleja de él proporcionalmente, y de consiguiente es menester alejar el ocular prolongando el telescopio, á fin que la imágen quede siempre en el foco del ocular: de que se sigue que se pueden por medio de este telescopio ver igualmente bien los objetos cercanos como los lejanos, colocando los dos vidrios á una conveniente distancia.

8.° Que si el que hace uso de este telescopio es un miope, debe aproximar el ocular hácia el objetivo ó hácia la imágen *ob*, á fin que esta imágen hallándose asi situada entre el ocular y su foco los rayos que deja caer sobre este vidrio salgan diverjentes.

Del telescopio terrestre.

1487. Se construyen tambien otra especie de telescopios, destinada particularmente á ver los objetos terrestres, la que se diferencia de la precedente en que tiene otros dos oculares, los que se añaden para poner derecha la imágen invertida. Los cuatro vidrios MN, PQ, RS, TV (fig. 138) tienen un eje comun Af, el foco de cada uno concurre por una y otra parte con el foco de aquellos entre que se halla. Los focos de estos tres oculares son ordinariamente de igual longitud. Sea OB un objeto infinitamente lejano; los rayos paralelos salidos del punto O que se halla en el eje del telescopio, van cruzándose por la refraccion producida por el objetivo á formar en el foco o una imágen del punto O; de alli cayendo sobre el ocular PQ, salen converjentes para el foco x, en donde cruzándose forman una segunda imágen del punto O; cayendo despues sobre el ocular TV, salen aun paralelos, y capaces por consiguiente de formar en un ojo presbito, ó en un ojo bien conformado una imágen del objeto. Del mismo modo los rayos paralelos salidos de la estremidad B del objeto despues de haber atravesado el objetivo van á formar cruzándose en b una primera imágen de este punto B; de aqui dando en el ocular PQ salen paralelos entre sí; pero tanto mas inclinados al eje Af como el foco de este ocular sea mas corto: despues de haber cortado este eje en F, dan en el segundo ocular RS, del que salen converjentes para formar en y una segunda imágen; encuentran despues en su prolongacion al ocular TV, del que salen paralelos é inclinados al eje que van á cortar en el punto f, en que es menester colocar el ojo para ver la imágen yx, la que es derecha ó situada del mismo modo que el objeto OB.

A este telescopio se le da comunmente el nombre de *anteojo de aproximacion* ó de *telescopio terrestre*; tiene las mismas propiedades generales que el telescopio astronómico. Este último ofrece sin embargo muchas ventajas que han determinado los astrónomos á preferirlo. 1.° El telescopio astronómico, es capaz de mayor campo; 2.° puede tener un ocular de foco mas corto y de

consiguiente puede amplificar mas el objeto; 3.° es mas corto; 4.° hay menor pérdida de rayos, porque estos no han de atravesar mas que dos vidrios.

De los telescopios acromáticos.

1488. Los telescopios acromáticos son aquellos al traves de los que no se percibe ninguno de los colores del iris.

Los bordes del objetivo de los telescopios comunes dejan percibir colores muy fuertes que alteran la limpieza de la imágen principal, los que reconocen por causa la diferente refranjibilidad de los rayos elementales de que se compone el fluido luminoso. Esta grande imperfeccion fijó la atencion de los geómetras y de los mas célebres artistas; y sus esfuerzos reunidos no tardaron á hacerla desaparecer.

Euler reflexionando sobre la estructura del ojo, tuvo de repente la idea ingeniosa de imitar su construccion en la fabricacion de los telescopios. Las imágenes de los objetos que miramos sin el socorro de lentes no son alteradas por mezcla de colores estraños: son pues nuestros ojos verdaderamente acromáticos, es decir, que los diferentes humores de que se compone el órgano de la vision estan arreglados de modo que no resulta difusion alguna de focos; y de consiguiente si en la construccion de los telescopios se combinan medios de diferente densidad, se llegarán á hacer anteojos, por cuyo medio las imágenes se verán tan limpias como las que se forman por medio de la simple vista.

Bajo esta idea *Euler* buscó las dimensiones de los objetivos formados de vidrio y agua, de modo que pudiesen imitar la combinacion que naturalmente se hace en el ojo. Pero todos los medios que le suministró la geometría no pudieron compensar lo que le faltaba de conocimientos con relacion al efecto de diferentes sustancias en la dispersion de los rayos colorados. Asi los telescopios que se fabricaron en Paris, bajo este principio, no tuvieron mas que muy poco suceso.

Dollond se amparó de la idea de *Euler*, y despues de varias tentativas llegó á hacerla útil, no empleando para formar los ob-

jetivos, vidrio y agua, los que relativamente á sus refracciones medias no producen diferencias bastante sensibles en las refranjibilidades de los colores, sino combinandò vidrios de diferente calidad.

Un vidrio muy blanco y muy transparente conocido en Lóndres con el nombre de *flint-glas* y en Francia bajo el de *cristal de Inglaterra* es el que segun *Dollond* da los iris mas distinguidos, y de consiguiente aquel en que la refraccion del rayo rojo se diferencia mas del violado. Un vidrio verdoso conocido bajo el nombre de *crown-glas*, el que se parece mucho en calidad al vidrio comun de Francia es el que da la menor diferencia en la refranjibilidad. Estas son las dos sustancias que *Dollond* empleó en 1758 para formar los objetivos, y halló que la relacion de las diferentes dispersiones era la de 3 á 2, de modo que el espectro colorado, que con un prisma de *crown-glas* tendria dos pulgadas de longitud, tendria tres con un prisma de *flint-glas*.

El fluido luminoso que saliendo del objeto da sobre el primer vidrio bi-convexo del objetivo el que es de *crown-glas* sufre dos refracciones, una al entrar y la otra al salir; y los rayos colorados que lo componen se separan. Estos rayos atravesando despues las dos superficies del vidrio *bi-còncavo* que es de *flint-glas*, son refrinjidos en sentido contrario, pero con mayor fuerza de lo que lo habian sido por la primera lente, porque la segunda tiene mayor poder refrinjente, sea en razon de su densidad, sea en razon de su curvatura. Estos rayos en fin dando sobre el tercer vidrio bi-convexo el que es de *crown-glas* refrinjen de nuevo en direccion contraria á la que les habia dado el *flint-glas*, pero una cantidad igual á la que el *flint-glas* habia producido de esceso. El fluido luminoso sufre pues pasando los tres vidrios de que se compone el objetivo de los acromáticos, diferentes refracciones de las que resulta una perfecta reunion de los rayos, la que hace desaparecer los colores.

Los primeros telescopios que se construyeron asi por *Dollond* tuvieron muy felices resultados. Luego despues grandes geómetras, entre los que se distinguen, *Euler*, *Clairaut*, *d' Alambert*,

se ocuparon con mucha actividad, en perfeccionar la teoría de los anteojos acromáticos.

Se han propuesto diferentes medios para hacer desaparecer la aberracion de refranjibilidad. El primero consiste en hacer variar los radios de la curvatura de las superficies refrinjentes, y la magnitud de la abertura que se les puede dar. Pero como es muy dificil y tal vez imposible el procurarse muchos pedazos de vidrio de una densidad perfectamente igual, aunque sean de la misma especie, no se pueden siempre emplear las curvaturas indicadas por los geómetras.

Euler propone un medio ingenioso y mas simple que el precedente en una memoria impresa en las *colecciones de la academia de ciencias*, año 1765. Consiste en lo que sigue.

Todas las imágenes coloradas producidas por la separacion de los rayos de diferente refranjibilidad, estan situadas á distancias diferentes en el eje, son desiguales en magnitud, y las mas vecinas al ojo son las mas pequeñas: si se imagina pues una línea que toque en el estremo de todas las imágenes, irá á unirse al eje en un punto, y el ojo colocado en este punto verá una imágen la mas próxima á cubrirle todas las demas; y como la mezcla de todos los rayos colorados forma el blanco no se percibirán colores, aun en el caso de no ser posible el reunir todas las imágenes coloradas. No se trata pues sino de determinar el punto del eje en que debe colocarse el ojo para que la confusion causada por los diferentes colores, desaparezca; y esta determinacion es fácil.

Sea NV (fig. 139) la última imágen principal representada por las superficies refrinjentes; Nn el espacio en que se difunde, y nu la imágen de otro color cualquiera. Tírese por las estremidades u y V la recta uVO que corte el eje en O, es claro que hallándose el ojo situado en O, cada punto del objeto se pintará sobre el mismo punto de la retina por todos los rayos diferentes, y de consiguiente la vision no será confusa por la apariencia de los bordes colorados. No se debe pues buscar mas que el punto O;

pero $$\mathrm{NO}=\frac{\mathrm{N}n}{nu-\mathrm{NV}}.\ \mathrm{NV}=\frac{\mathrm{N}n\ .\ \mathrm{NV}}{d\mathrm{NV}}=\frac{\mathrm{N}n}{d\mathrm{NV}}.$$

Es claro que este medio puede siempre emplearse, aun cuando no nos sirvamos sino de lentes de una sola especie de vidrio. En todos los casos no se trata sino de conocer la difusion ó la separacion de los colores, causada por la refraccion en las diferentes materias; se mide esta division ó por el espacio que ocupan los colores en el foco de dos diferentes lentes formadas de estas materias, ó haciendo pasar el rayo al traves de dos prismas arrimados por una de sus caras de los que el primero sea de una de estas materias y el segundo de la otra. Por el primer método la medida es muy dificil, porque no es fácil fijar el límite de los colores en la imágen. El segundo método exije solamente que se conozcan los ángulos de los prismas, los que aunque pequeños pueden ser medidos con bastante exactitud.

§ II.

De los telescopios de reflexion.

Del telescopio Newtoniano.

1489. Los telescopios de reflexion son los que estan formados en parte de espejos, y en parte de vidrios refrinjentes. El fin que se propone en la construccion de esta suerte de telescopios, es el de reflejar el manojo de rayos salidos del objeto, los que siendo reflejados por la concavidad de un espejo esférico converjen para formar una imágen F (fig. 140) de este objeto sobre el eje ó cerca del eje del espejo. La situacion de esta imágen que es delante del espejo y por la misma parte del objeto la impide de ser vista directamente por medio de uno ó tres oculares; porque para esto seria menester que el ojo estuviese colocado entre el objeto y la imágen, y en este caso el fluido luminoso que viene del objeto no podria llegar al espejo ni en bastante cantidad ni bastante cerca del eje.

Este inconveniente se corrige por medio de un espejo plano IH, inclinado al eje del espejo esférico de 45 grados; este espejo fija en o el vértice del cono de los rayos reflejados en que se halla

la imágen, y se añaden uno ó tres oculares en la línea *ok*, segun se quiere ver esta imágen invertida ó derecha. Se abre á este fin el lado MN del tubo del telescopio.

Este telescopio que se llama *Newtoniano* ofrece la preciosa ventaja de producir el mismo efecto que los telescopios de refraccion aunque sea mucho mas corto. Dos causas influyen en esto: 1.° en los telescopios de reflexion la imágen no se halla colocada entre el objetivo y los oculares como en los de refraccion de la segunda y tercera especie: 2.° un mismo espejo objetivo puede tener oculares de focos muy diferentes entre sí, y tambien de foco estremamente pequeño; lo que hace que un mismo telescopio de reflexion equivalga á muchos de refraccion de diferentes longitudes, porque la bondad de estos últimos depende de ciertas relaciones que deben tener los focos de los oculares con los de los objetivos, y estas relaciones tienen límites muy estrechos.

En el telescopio newtoniano el espejo plano III debe ser móvil para hacer caer las imágenes de los objetos en el foco del ocular; porque esta imágen se aleja del espejo objetivo á medida que el objeto se aproxima. Es menester tambien que el ocular pueda correr á lo largo del tubo MN del telescopio al mismo tiempo que el espejo plano IH se mueve por dentro de este tubo, á fin de que este ocular tenga su foco en el vértice del cono de los rayos reflejados por el espejo plano IH.

Es fácil ver que los miopes deben aproximar un poco el espejo plano IH, á fin de que colocando la imágen entre el ocular y su foco los rayos salgan del ocular diverjiendo tanto como es necesario para que la puedan ver distintamente.

Del telescopio gregoriano.

1490. El telescopio gregoriano no es tan simple como el de *Newton*; porque está compuesto de dos espejos cóncavos, y de dos lentes oculares.

Para construirlo se presenta á un objeto un espejo cóncavo AB (fig. 141); un poco mas allá de la imágen F que forma sobre el eje OF de este espejo se coloca otro espejo cóncavo CD de un foco

mas corto y de una abertura mucho mas pequeña, pero cuyo eje esté en la misma línea en que está el del primer espejo AB: la imágen F es con relacion al espejo CD como un objeto colocado entre su foco G y su centro E: en esto está el porque se forma sobre el mismo eje una segunda imágen H que está tanto mas lejos por la parte del centro E cuanto la primera imágen F está mas cerca del foco G del pequeño espejo; y porque aproximando este pequeño espejo á la imágen F, ó apartándole de ella, se pone la segunda imágen H á la distancia que se quiera, se acostumbra colocarla un poco mas acá que el espejo AB, el que está agujereado por su centro I, á fin de que la imágen H pueda ser vista por medio de un ocular PQ; y es claro que esta imágen debe parecer recta, porque es invertida con relacion á la imágen F, que es invertida con relacion al objeto.

Si el objeto es muy luminoso, se puede para aumentar las dimensiones de la segunda imágen hacerla caer en O, mas allá del espejo AB, y colocar en O el foco de un ocular PQ, á fin que los rayos que tienden á formar la imágen hácia O, cayendo sobre este ocular salgan de él paralelos, y sean despues recibidos por otro ocular colocado mas allá del punto O, el que los haga converjer en un punto en que se halla el observador.

Se ve que en estas dos especies de telescopios el pequeño espejo colocado en el eje del grande, detiene necesariamente todos los rayos paralelos al eje, los que caerian en medio del espejo objetivo: esta es la causa porque es indiferente que en este lugar el espejo sea ó no agujereado.

Estos telescopios presentan muchos inconvenientes; 1.º tienen poco campo; 2.º es dificil dirigirlos hácia los objetos, y exijen precauciones estraordinarias, sea en su construccion, sea en su uso; 3.º son muy costosos y fáciles á echarse á perder; el importante descubrimiento de los telescopios acromáticos ha hecho abandonar su uso.

Del telescopio de Lemaire.

1491. *Lemaire* inventó en 1728 un telescopio que puede re-

ferirse al telescopio néwtoniano, es no obstante mas simple porque tiene suprimido el espejo plano. Un espejo esférico cóncavo y un ocular convexo son los solos elementos que entran en su composicion. Con este telescopio *Herschell* ha descubierto en estos últimos tiempos el nuevo planeta *urano*, los seis satélites que le acompañan, y dos nuevos satélites en saturno. El telescopio de *Herschell* no se diferencia del de *Lemaire* sino en la magnitud, en la hermosura de su construccion y en la preciosa ventaja de aumentar considerablemente las imágenes.

§ III.

De los microscopios.

1492. Se distinguen tres especies de microscopios, el simple, el compuesto y el microscopio solar.

Del microscopio simple.

1493. El microscopio simple es una lente MN (fig. 142) convexa del uno ó de los dos lados y que se llama en general *una lente.* Presentándola á un objeto OB, de modo que el foco que está en su eje caiga en el punto O que se intenta examinar, los rayos que salen de este punto para atravesar la lente salen de ella paralelos, y de consiguiente propios para formar una imágen de este mismo punto en un ojo bien organizado y en un ojo presbito situado en una distancia cualquiera sobre su direccion, y tambien en un ojo miope con tal que el punto O esté situado un poco mas arrimado á la lente que su foco. El punto B del objeto OB, bastante aproximado al eje de la lente para juzgarse en su foco, envia tambien rayos que salen de la lente sensiblemente paralelos entre sí, pero tanto mas inclinados al eje cuanto la convexidad de la lente pertenece á una esfera menor, ó que su foco es mas corto. En esto está el por qué, colocando el ojo á una muy pequeña distancia de la lente hácia el punto *o* de este eje, por donde pasa el rayo principal BC, se verá distintamente el objeto OB bajo el ángulo BoO, el que hará parecer este objeto

tanto mayor cuanto mas aproximado esté que la distancia regular de la vision.

En lugar de una lente nos podemos servir de una pequeña esfera de vidrio, la que es fácil de hacer fundiendo un pequeño pedazo de cristal en la llama de una mecha empapada de alcohol, para evitar el inconveniente del humo, el que mezclándose con el vidrio en fusion vuelve opacas las esferillas.

Puédese tambien hacer una especie de microscopio con una esfera de vidrio llena de agua; esta produce á corta diferencia el mismo efecto que una pequeña esfera de agua, porque siendo muy pequeño el espesor del vidrio, y ademas siendo formado de dos superficies concéntricas, la refraccion se hará á corta diferencia como si la esfera fuese toda de agua.

Del microscopio compuesto.

1494. El microscopio compuesto tiene mucha similitud con el telescopio astronómico. Está formado de muchas lentes convexas, cuyo objetivo MN (fig. 143) es de un foco muy corto: se coloca un objeto OB un poco mas distante á fin que la imágen *ob* sea alejada y aumentada á proporcion: se coloca despues el foco de un ocular en el lugar en que se halla esta imágen, á fin de verla distintamente.

Segun esta construccion es fácil ver, 1.° que la distancia de la imágen á la lente objetiva debe variar mucho por poco que varíe la del objeto; y como es difícil asegurarse de la colocacion de un objeto en una situacion fija, ó á una distancia dada, es menester en el uso de este microscopio, adelantar ó retroceder el ocular hasta que se vea distintamente la imágen del objeto; 2.° que el objeto parece tanto mayor como su imágen *ob* esté mas lejana del objetivo MN, y que siendo vista por medio del ocular, se halla mas aproximada que á la distancia regular para ser vista distintamente con la simple vista; 3.° que la magnitud aparente del objeto debe variar á proporcion que se aleja el objetivo; pues que la imágen *ob* se aproxima á proporcion que sus dimensiones disminuyen.

Regularmente se coloca un ocular entre el objetivo MN y la imágen *ob* á fin que esta se forme mas inmediata al objetivo, y que de consiguiente el tubo del microscopio sea mas corto. Por este medio se engrandece mucho el campo del microscopio.

En lugar de uno ó dos oculares solamente algunas veces se ponen en mayor número. Los microscopios de *Del-barre* compuestos de un objetivo y cinco oculares, producen efectos maravillosos, los que hasta aqui han merecido y obtenido la preferencia.

Del microscopio solar.

1495. El microscopio solar, que se debe á *Libercuin* de la academia real de Prusia y de la sociedad de Lóndres, es un instrumento que sirve para ver en grande en un cuarto bien cerrado y oscuro las imágenes de muy pequeños objetos vivamente iluminados por el sol. Este microscopio está compuesto de un espejo plano dispuesto en la parte de afuera de una puerta ventana del cuarto oscuro, y susceptible de moverse en dos sentidos; el uno para ponerlo de frente al sol y para hacerle seguir en el arco que el sol describe durante el esperimento; el otro para inclinarlo segun conviene y de modo que refleje los rayos solares dentro de un tubo ajustado al orificio hecho en la puerta ventana. En el principio del tubo hay una lente convexa que reune los rayos que el espejo le envia, la que los concentra sobre los objetos que se hacen pasar por debajo un resorte colocado en la otra estremidad del mismo tubo. Mas allá de estos objetos hay una lente la que se aproxima ó se aleja del objeto cuya imágen viene á pintarse sobre un plano blanco, ó sobre un bastidor guarnecido de gasa que se pone á algunos pasos de distancia en el interior del cuarto.

El microscopio solar tiene la preciosa ventaja de aumentar segun queremos las dimensiones de las imágenes aumentando la distancia del plano sobre el que vienen á pintarse, y haciendo variar la distancia respectiva de las dos lentes. Por esto es útil para diseñar cómodamente los objetos, y tan grandes como se quiera.

De la linterna mágica.

1496. La linterna mágica de la que *Kirker* es el inventor, se parece mucho sea por su construccion, sea por sus efectos, al microscopio solar. Los rayos luminosos tienen en ella una marcha semejante, y van de la misma manera á pintar en grande sobre un plano blanco los objetos pintados sobre láminas de vidrio. Se ilumina con una lámpara; pero los efectos son mucho mas maravillosos cuando se introduce en ella un gran manojo de rayos solares. A este fin se adapta el tubo que lleva los vidrios del instrumento y el bastidor por el que se hacen pasar los objetos en el estremo del tubo de un microscopio solar ordinario, y queda con esto construido el aparato.

De la fantasmagoria.

1497. Los imponentes efectos de la fantasmagoria se producen combinando vidrios convexos con un espejo parabólico. Las imágenes presentan comunmente la figura de un espectro que se aproxima desde lejos, y que se pinta en un bastidor de gasa ó de percala engomada, puesto verticalmente entre el espectador y el aparato. La construccion de la máquina es la siguiente.

Se coloca en medio de una caja cuadrada una lámpara á corriente de aire, los rayos luminosos que salen de ella son reflejados por un espejo parabólico hácia una abertura practicada en uno de los lados de la caja, en esta abertura se atornilla un tubo dado de negro por la parte interior, y compuesto de muchos tubos que se introducen los unos en los otros como los de los anteojos. Este tubo está armado con dos lentes bi-convexas de cerca 135 milimetros (5 pulgadas) de diámetro; la una es fija, la otra es móvil y situada en el estremo del tubo: esta se aproxima ó se aleja de la primera, segun se prolonga ó se acorta el tubo por medio de un registro. En el tubo se labra una muesca destinada á recibir las figuras transparentes á las que se les da una situacion inversa, y se hallan colocadas entre la lámpara á corriente de aire y la lente fija de la que estan poco distantes: en fin la ca-

ja está sostenida por una mesa movible sobre cuatro ruedas que resbalan por dos encajes perpendiculares al bastidor de percala en el que se pintan las imágenes.

Los conos luminosos que salen de las dos estremidades opuestas de la figura transparente son refrinjidos por la lente fija; los rayos de que se compone cada uno de estos conos salen pues menos diverjentes y estos conos converjen el uno hácia el otro mas fuertemente que cuando iban de la figura transparente hácia la lente. Caen sobre la lente móvil, se cruzan en ella, y los rayos de que se compone cada cono salen converjentes, de modo que van á pintar sobre el bastidor de percala ó de gasa las imágenes de los puntos de que han salido.

Síguese de aqui, 1.° que la figura transparente teniendo una posicion invertida, la de su imágen debe ser derecha.

2.° Que se pueden aumentar ó disminuir las dimensiones de las imágenes, aproximando ó alejando el aparato del bastidor; pero en este caso el foco de los rayos diverjentes que salen del mismo punto de la figura transparente no se pinta en el bastidor; por lo que es preciso alejar ó aproximar le lente móvil á la fija, de modo que la combinacion de los dos movimientos de una imágen clara y distinta.

3.° Conservando siempre la imágen la misma posicion, el espectador seducido por la ilusion, juzga que muda de lugar cuando muda las dimensiones. Si su pequeñez es estrema la ve lejana; pero si en este caso sus dimensiones crecen progresivamente, le parece que corre con mas ó menos celeridad la inmensa distancia que les separa para colocarse á su lado.

Lo que se ha dicho hasta aqui no tiene por objeto mas que las imágenes de las figuras transparentes. Para tener las de los cuerpos opacos se coloca al principio la tela y la caja á seis pies de distancia lo uno de lo otro, y se adapta en el orificio de la caja un aparato con dos tubos guarnecidos de dos lentes biconvexas. Se fija en un pequeño sustentáculo puesto en medio de la caja de un cuerpo opaco, por ejemplo una medalla ó un cuadro; la lámpara á corriente de aire, situada en uno de los ángu-

los de la parte anterior de la caja ilumina este objeto, los rayos que este refleja atravesando las lentes, van á pintar la imágen sobre la tela con una amplificacion que es en razon de su distancia.

Si la imágen no es distinta es señal que no está en el foco, y se puede colocar en él de tres modos; 1.º aproximando ó alejando un poco la caja de la tela; 2.º aproximando ó alejando el objeto de las lentes en lo interior de la caja; 3.º moviendo lentamente los tubos para variar la distancia que separa las lentes.

Del polemoscopio.

1498. *Hevelius* ha dado este nombre á un instrumento imaginado para ver objetos ocultos á nuestra vista directa. Este consiste principalmente en un espejo inclinado el que se coloca en el fondo de una caja abierta por frente del espejo, y que envia la imágen del objeto al ojo del espectador. Puede servir con ventaja en un tiempo de sitio para ver lo que pasa en el campamento enemigo. Los pequeños anteojos de teatro abiertos lateralmente y que tienen un pequeño espejo plano en su interior, son una especie de polemoscopio que hace ver las personas colocadas al lado mientras parece que uno mira las que estan en frente.

(*) *De la cámara lúcida.*

Concíbase un prisma cuadrangular (fig. 1.ª sup.) cortado de modo que los rayos enviados de los objetos lejanos cayendo casi perpendicularmente encima de la primera superficie, sufran dos veces la reflexion total en las dos superficies interiores despues de las que salgan casi perpendicularmente por su última superficie y lleguen al ojo situado en O: de este modo el ojo verá una imágen de los objetos derecha y orizontal que le parece venir al traves del prisma. Supongamos que la pupila se coloca de modo que los rayos asi reflejados no ocupen mas que su mitad, y que la otra mitad retirada un poco por detras del prisma pueda recibir los rayos que llegan directamente de un carton AB situado debajo; es evidente que de este modo el espectador verá á un tiempo con el mismo ojo la imágen y el carton sobre el que parecerá delinea-

da: por lo que si se procura seguir sus contornos con un lapiz de punta muy aguda se verá á un tiempo la punta del lapiz y la imágen de modo que nada impide el delinearla. Puédese aun aplicar á este instrumento una lente converjente ó diverjente delante del prisma si la vista del observador exije este recurso. Este ingenioso instrumento ha sido inventado por *M. Wollaston*. Puédese estender su uso colocando detras del ocular de un telescopio un espejo metálico inclinado y muy delgado, por cuyo borde se puede mirar tambien con la mitad de la pupila, y asi por este medio se pueden delinear objetos distantes.

LIBRO UNDÉCIMO.

CUARTA PARTE.

DE LA DESCOMPOSICION DEL FLUIDO LUMINOSO AL TRAVES DE UN PRISMA, Y DE LOS FENÓMENOS Á QUE DA ORIGEN ESTA DESCOMPOSICION.

CAPÍTULO PRIMERO.

PARRAFO PRIMERO.

De la descomposicion del fluido luminoso al traves de un prisma.

1499. Rayos que en igualdad de circunstancias sufren diferente refraccion son de diferente refranjibilidad; y los que por la refraccion son mas doblados son mas refrinjibles.

1500. Llámanse *rayos homogéneos* los que no se diferencian en refranjibilidad, y *rayos heterogéneos* los que son no igualmente doblados por la refraccion en igualdad de circunstancias.

Primer esperimento. Introdúzcase un rayo de luz en un cuarto oscuro por una abertura circular de 9 milimetros (4 líneas) de diámetro. Hágase pasar este rayo de luz por un prisma de modo que sea perpendicular á su eje é igualmente inclinado sobre dos caras del prisma. Este rayo dando sobre un plano blanco ó sobre un papel blanco se dispersa pasando por el prisma y forma una imágen oblonga teñida de diferentes colores, que se perciben distintamente si se aleja el papel á 6 metros (cerca 18 pies) del pris-

ma. Los rayos menos apartados por la refraccion de su camino rectilíneo son los rojos. Los demas colores siguen este órden, naranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado; los rayos de este último color son los mas refranjibles.

1501. Los rayos estan separados en la imágen, pero se confunden en toda ella una infinidad de imágenes circulares, que son del todo heterogéneas.

1502. Los colores son tanto mas perfectos en la imágen cuanto la abertura por la que entran los rayos es mas estrecha, porque el número de imágenes que se confunden disminuye tambien las que tienen una diferente refranjibilidad, pero en este caso el espectro es mas débil.

1503. Puédense por medio del esperimento que sigue obtener los colores mas vivos, y al mismo tiempo mas homogéneos.

Segundo esperimento. Hágase entrar en un cuarto oscuro por una abertura de cerca 3 milimetros (una línea y media) de diámetro rayos emanados del sol; diríjanse horizontalmente que caigan á 2598 milimetros (8 pies) de distancia de la abertura sobre una lente convexa que reune los rayos paralelos á 1299 milimetros (4 pies) de distancia. Si estos rayos dan contra un plano blanco á igual distancia de 2598 milimetros (8 pies) de la lente, formarán la imágen del orificio que le será perfectamente semejante. Pero si los rayos son interceptados detras de la lente por un prisma vertical se desvian, dispersan y forman una imágen colorada. Haciendo dar vueltas al prisma al rededor de su eje, se busca la situacion en que los rayos se desvian menos; en esta disposicion se fija y se pone un papel de modo que los rayos luminosos le den perpendicularmente, alejándolo hasta que la imágen sea circular.

Esta imágen tiene poca latitud, es viva, y las imágenes homogéneas se confunden en menor número.

1504. Estos esperimentos demuestran, 1.° que el fluido luminoso se descompone al traves del prisma en un grande número de rayos diferentemente refranjibles; 2.° que cada rayo mas ó menos doblado por la refraccion tiene un color que le es particular.

1505. En vano se diria que la diferente refranjibilidad de los rayos como tambien su color no les son inherentes, y que estas calidades reconocen por causa la refraccion que sufren al traves del prisma.

Tercer esperimento. Se hace pasar como en el primer esperimento un rayo por un prisma; este se esparrama y divide en muchos otros, los que formarian una imágen oblonga si cayeran sobre un plano blanco; pero se interceptan con un prisma vertical, colocado á una pequeña distancia del primero. Los rayos se doblan hácia la parte del segundo prisma el que se mueve hasta tanto que el desvío sea el menor posible, y que los rayos caigan perpendicularmente sobre un papel blanco. En esta situacion se fija el prisma. Los rayos son refrinjidos del mismo modo por el segundo prisma que por el primero; por lo que no son dispersados del mismo modo, lo que daria una imágen cuadrada, al paso que se ve inclinada por los rayos que son mas refrinjidos, como en la refraccion por el primer prisma.

Estos esperimentos y muchos otros semejantes que seria fácil describir justifican que el color y la refranjibilidad de los rayos no mudan por la refraccion.

1506. Falta probar que los rayos no pueden ser mudados por ninguna reflexion.

Cuarto esperimento. Si se tiene una imágen oblonga del sol teñida de colores homogéneos, y se hacen caer sucesivamente sus diferentes colores encima las superficies de diferentes cuerpos, por ejemplo, sobre telas de seda de diferente color, sobre vidrios colorados, y tambien sobre polvos que sirvan para pinturas, en todos estos casos los rayos en su reflexion, conservan su color; los rojos quedan rojos, ya sean reflejados por un cuerpo rojo ó por otro azul; es verdad que el color es un poco menos vivo cuando el color de los rayos no es el mismo que el de los cuerpos que los reflejan.

1507. Una vez bien establecida la diferente refranjibilidad de los rayos, debe el sol parecernos rojo en el horizonte, sin que nos debamos sorprender; porque los rayos que nos envia atravie-

san entonces las capas inferiores atmosféricas, las que son mas densas y mas cargadas de sustancias estrangeras. El mayor número de rayos es detenido en su rápido camino. Solo los rayos rojos estan esclusivamente dotados de una cantidad de movimiento suficiente para vencer todos estos obstáculos, y de consiguiente para llegar á nosotros.

1508. Conviene advertir acerca la reflexion, que los que son mas refranjibles son tambien mas reflejibles.

Quinto esperimento. Hágase entrar en un cuarto oscuro un rayo del sol y recíbase sobre la cara de un prisma rectangular LKI (fig. 144) de modo que forme con la base LI del prisma un ángulo un poco menor que de 50 grados. Una parte de este rayo no refrinje sensiblemente sino al salir por M, y va á formar una imágen colorada sobre el papel blanco NN; porque en su entrada por el lado IK casi no tiene obliquidad de incidencia. La otra parte del rayo se refleja hácia O, en donde es recibida por otro prisma TXV, cuyo ángulo refrinjente X debe ser á lo menos de 55 grados; y esta parte del rayo refrinjiendo en este prisma forma una segunda imágen colorada sobre el papel P*p*. Si se hacen dar vueltas al primer prisma LKI sobre su eje, de modo que el rayo incidente TM haga en su base LI un ángulo de cerca 45 grados, la luz de la primera imágen QRS empieza á ser reflejada hácia al otro prisma; pero los rayos violados y los azules Q desaparecen primeramente, y van despues de haber pasado por el segundo prisma, á aumentar el resplandor de estos mismos colores *q* en la segunda imágen *qrs;* desaparecen despues sucesivamente de la primera imágen QRS los rayos verdes, los amarillos, los de naranja, y los rojos que son los que se desvanecen últimamente.

Esta diferente refranjibilidad de los rayos es la que da origen al color azulado del cielo. Este resulta de la mezcla de los rayos azules y violados, los que siendo mas reflejibles que los otros no son enviados de nuevo en grande cantidad por la atmósfera, la que recibe todos los rayos reflejados por la superficie de la tierra, y por los cuerpos que nos rodean.

1509. Los rayos solares tienen la facultad de producir calor cuando se combinan con las moléculas de los cuerpos; pero no todos gozan en igual grado de la misma propiedad.

Mr. Herschell espuso sucesivamente la esfera de un termómetro á la accion de los rayos rojos, verdes y violados. Los ascensos correspondientes del mercurio se hallaron en la razon de los números 55, 25, 16 (1). En este esperimento el prisma estaba colocado en lo alto de una ventana abierta, y dirigido perpendicularmente á la direccion de los rayos solares. El termómetro recibia los rayos colorados al traves de una abertura rectangular hecha en una pantalla de carton sobre el que daba el espectro solar.

Otros dos termómetros colocados en la sombra, cerca del precedente, indicaban la variacion espontánea de la temperatura durante el esperimento.

Mr. Rochon habia ya observado en Francia diferencia en el poder calorífico de los rayos colorados. Los resultados á que le condujo un gran número de esperimentos bien hechos se diferencian muy sensiblemente de los de *Herschell*, pues dan la razon de 8 á 1 ó de 56 á 7 para las intensidades de calor producido por los rayos rojos y violados. Véase la coleccion de memorias sobre la mecánica y la física, por *Mr. Rochon* 1783.

1510. *Mr. Herschell* observó sucesivamente con el microscopio cuerpos opacos iluminados por rayos de un solo color. Le pareció que los rayos amarillos iluminaban con mas viveza que los demas, aunque la diferencia de color no influyó sensiblemente sobre la limpieza de la imágen.

Esta propiedad de los rayos amarillos habia ya sido conocida por *Newton*; pues que prescribe en su tratado de la luz, traduccion de *Cotes*, segunda edicion, pág. 109, que se coloquen las imágenes de los objetos no en el foco de los rayos de refrac-

---

(1) *Aqui se trata del termómetro de* Fahrenheit, *del que un grado vale cuatro novenos de grado del termómetro de* Reaumur.

cion media que estan en los límites del verde y azul, sino en medio del anaranjado y amarillo que son los colores mas luminosos.

Mr. Herschell se ha ocupado aun en comparar las operaciones que se pueden hacer sobre los rayos que producen el calor con las que se pueden hacer sobre los que producen la luz, y procura probar que unos y otros pueden ser reflejados y refrinjidos segun las mismas leyes. Sujeta desde luego á sus esperimentos el calor producido por cuerpos luminosos, tales como el sol, las lámparas, las torcidas etc. Halla despues del mismo modo el calor invisible del sol, de las estufas, etc. Aqui hay algunos resultados de sus observaciones.

Habiendo colocado un espejo plano en la parte invisible del espectro solar, reflejó los rayos invisibles de calor sobre un termómetro de *Fahrenheit* en que en 10 minutos se elevó de dos grados; otro termómetro colocado fuera de la direccion de estos rayos no esperimentó variacion alguna.

Habiendo reflejado la parte invisible del espectro con un espejo cóncavo, el mercurio se elevó en el termómetro 24 grados. El calor invisible de una estufa reflejado del mismo modo produjo efectos igualmente sensibles.

1511. *Mr. Herschell* indagó despues si los rayos invisibles de calor podian hacerse visibles por la condensacion. Para obtener este resultado hizo caer el espectro solar sobre una grande lente de *Dollon*, en parte cubierta de carton, y teniendo la parte visible del espectro á 2 milimetros (1 línea) cerca del borde del carton á fin de que solo los rayos invisibles pudiesen atravesar la lente; colocó en el foco un termómetro, en el que el mercurio se elevó al instante de 45 grados: la esfera del termómetro se halló colorada de rojo.

Habiendo retirado el espectro á 5 milimetros (cerca 2 lineas) del borde del carton el mercurio se elevó 21 grados. No se vió mas la esfera con apariencia de color rojo. En cuanto al que se observó en èl esperimento precedente, *Herschell* lo atribuye á la imperfeccion de la refraccion producida por la lente, y á la dificultad de determinar con precision los límites del espectro lu-

minoso. Estos esperimentos no se hicieron en cuarto oscuro: *Herschell* se limitó á colocar delante la ventana una cortina muy recia.

Estos resultados y muchos otros que seria demasiado largo el referirlos, conducen á *Herschell* á deducir que los rayos invisibles que producen el calor estan sujetos á las mismas leyes de refraccion y de reflexion que los que producen la luz.

1512. Los esperimentos que se acaban de referir hicieron sospechar á *Herschell* que hay rayos solares invisibles, que no producen mas que calor, y que son menos refranjibles que los rayos luminosos. Para justificar ó para destruir sus sospechas, este físico trazó sobre una tabla horizontal cinco líneas paralelas distantes entre sí de 0,0125 metros (media pulgada inglesa); habiendo despues fijado el espectro solar sobre esta tabla, de modo que la parte visible terminara en la primera línea por parte de los rayos rojos, colocó sucesivamente la esfera de un termómetro sobre la segunda línea, la tercera, la cuarta y de consiguiente fuera de la parte visible del espectro; las relaciones en los ascensos correspondientes del mercurio se hallan en la razon de $5\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{4}$, $3\ 1\frac{1}{8}$.

Para determinar el punto en que el calor es el mayor, *Herschell* colocó su termómetro; 1.° en medio de los rayos rojos; 2.° en el punto en que dejan de ser visibles, es decir la mitad en la sombra, la otra mitad en el rojo visible; 3.° fuera de los rayos visibles de modo que estos solo rozaran con la esfera del termómetro; los ascensos correspondientes del mercurio se hallaron en la razon de los números 7, 8, 9; en este último esperimento el centro de la esfera se hallaba á 7 milimetros (3 líneas) mas allá de la parte visible del espectro; el termómetro (escala de *Fahrenheit*) que señaló un grado mas que en la situacion precedente no se habia remitido á la temperatura media. *Herschell* se contentó con hacerlo pasar de una posicion á otra observando la cantidad que el mercurio se elevaba despues de esta mutacion.

Concluyó *Herschell* de estos esperimentos que existen rayos

solares invisibles que producen calor, y que son menos refranjibles que los que afectan el órgano de la vision. Atribuye á estos rayos invisibles el calor que se ha manifestado en los esperimentos fuera de la parte visible del espectro; y despues de muchos ensayos fija el mayor calor á 0,0125 metros (media pulgada inglesa) fuera de la parte luminosa. En fin este físico juzga que nuestros ojos estan construidos de modo que no perciben mas que los rayos contenidos en el espectro luminoso, al paso que los rayos invisibles detenidos por las membranas y los humores del ojo obran sobre él como sobre lo demas del cuerpo escitando la sensacion de calor.

1513. Sábese de mucho tiempo hasta á que punto se concentran los rayos solares para producir calor como reuniéndolos por medio de una lente ustoria; ¿ pero se aumenta por este medio su poder real, ó bien el efecto depende solamente de que solo obran en mayor número y en un menor espacio?

Para asegurarse de esto *M. Rumford* empleó dos lentes perfectamente iguales de 4 pulgadas de diámetro y de 11 pulgadas y 6 líneas de distancia focal; las presentó al mismo tiempo al sol y para determinar las cantidades relativas de calor que se producen en términos determinados por los rayos solares á diferentes distancias de los focos de las lentes, recibió estos rayos sobre las superficies dadas de negro de dos depósitos de calor, los que eran dos cajas metálicas llenas de agua, en cada una de las que habia un termómetro.

A fin de que las cantidades de rayos que pasan al traves de cada una de las lentes fuesen perfectamente iguales, se colocó inmediatamente delante de cada una de estas lentes un disco metálico muy pulido agujereado en su centro por un orificio circular de tres pulgadas y media de diámetro.

Cuando los depósitos de calor estan colocados á diferentes distancias de los focos de sus respectivas lentes, los diámetros de los espectros solares formados en las superficies negras de los receptáculos son necesariamente diferentes; y como las cantidades de rayos son iguales, sus densidades en las superficies de los depósi-

tos son recíprocas al cuadrado del diámetro del espectro formado en la respectiva superficie.

M. Rumford hizo con el aparato que se acaba de describir varios esperimentos los que le condujeron á deducir que el poder de los rayos para producir calor es siempre proporcionado á su cantidad, sea que se les concentre ó no, ó lo que es lo mismo que el calor producido es proporcionado al fluido luminoso absorvido. Mucho tiempo habia que los físicos presentian la existencia de esta verdad. Estaba reservado á *M. Rumford* el hacerla sensible por medio de esperimentos delicados.

§ II.

De la mezcla de los colores y de la blancura.

1514. Se probará en este artículo que la refranjibilidad de los rayos y su color no pueden ser alterados por la mezcla de los rayos de diferente refranjibilidad.

Primer esperimento. Hágase caer la imágen oblonga y colorada del sol, de que se ha hablado en el esperimento del capítulo precedente, sobre una lente convexa que diste 1949 milimetros (6 pies) de un prisma horizontal; los rayos diverjentes se hacen converjentes por la refraccion en la lente, y se cortan recíprocamente á 1949 milimetros (6 pies) de distancia mas allá. Si se pone un carton blanco un poco mas lejos, los rayos que despues de su interseccion vuelven á ser diverjentes llegarán á este carton dispersados, y se obtendrá una imágen oblonga teñida de diferentes colores; pero los colores con motivo de su interseccion serán dispuestos en órden inverso, sin haber sufrido variacion alguna por su mezcla en el punto de interseccion.

Segundo esperimento. Si haciendo este esperimento se interceptan por medio de un papel negro algunos rayos de la imágen detras de la lente, la mezcla es variada al paso que los colores de los demas rayos aunque aislados no sufren alteracion alguna.

1515. Síguese de estos esperimentos qne la mezcla de los rayos de diferente refranjibilidad no varía de modo alguno la refranjibilidad, ni el color de los rayos.

Tercer esperimento. Si en el esperimento precedente se aproxima un papel al punto en que se confunden todos los rayos de la imágen detras de la lente, la imágen es blanca, si se intercepta con un papel negro el color rojo de la imágen delante la lente se desvanece el blanco, y el color sobre el papel blanco tira á azul.

1516. Los rayos que vienen del sol parecen blancos; si se separan con el prisma manifiestan su color; si se reunen de nuevo por medio de una lente convexa se restablece el color blanco. Estos resultados dados por la esperiencia nos conducen á concluir que la mezcla de los diferentes colores produce el blanco.

1517. Importa observar que para formar el color blanco no es necesario mezclar todos los colores que se observan en la imágen oblonga del sol; porque la blancura de los rayos solares tira un poco á amarillo; de manera que si en la mezcla se quita parte de los rayos amarillos el color blanco es mas perfecto. En una palabra el blanco es producido por la mezcla de cuatro ó cinco colores hecha en debida proporcion.

1518. Los colores primitivos, esto es homogéneos, producen tambien por su union una infinidad de colores diferentes. A menudo un color semejante á un color homogéneo resulta de la mezcla de otros colores. Asi es que con el rojo, el amarillo y el azul, se pueden imitar todos los demas colores. De aqui no es menester deducir que no haya mas que tres colores primitivos, pues que se hallan positivamente siete; porque aunque no percibamos diferencia alguna á simple ojo entre un color primitivo y otro que resulta de la mezcla de varios se hace sensible al traves de un prisma.

CAPÍTULO II.

DE LOS COLORES CONSIDERADOS EN LOS CUERPOS NATURALES.

1519. Se ha visto que los rayos elementales del fluido luminoso tienen cada uno un color que le es propio y que en ninguna circunstancia pueden sufrir alteracion alguna. No sucede asi con los cuerpos naturales. Los colores con que estos se nos presentan se alteran al fin segun la diferente posicion de los cuerpos, segun la diferente constitucion de las superficies que los terminan, y aun segun las diferentes modificaciones que se hacen sufrir á los elementos que los componen.

Primer esperimento. Descompóngase por medio de un prisma un rayo solar introducido en un cuarto oscuro, y háganse caer sucesivamente sobre un objeto los rayos colorados que resultan de la descomposicion; este objeto parece siempre del color del rayo que cae en su superficie, cualquiera que fuese su color cuando se le miraba en la luz del dia. Si el rayo luminoso que cae sobre el objeto es del mismo color que el objeto visto en atmósfera libre, su color es muy vivo, al paso que se pone bajo y oscuro cuando se hace caer en él un rayo de otro color.

1520. Síguese de este esperimento y de otros muchos que se han ya descrito, que los cuerpos naturales reflejan rayos de todos colores, pero de unos mas que de otros, y que el objeto parece siempre del color de los rayos que refleja en mayor número.

1521. Entre los rayos que no son reflejados por un cuerpo, los unos le penetran y sufren en él una infinidad de reflexiones y refracciones hasta que al fin se combinan en virtud de la atraccion con las moléculas del mismo cuerpo. Estos rayos combinados son los que calientan los cuerpos: y en esto está la causa de calentarse un cuerpo mas pronto si refleja menor número de rayos; en esto está tambien la razon porque un cuerpo blanco que refleja casi todos los rayos de que está iluminado, se calienta mas lentamente que los demas, al paso que un cuerpo negro

que refleja pocos rayos y que absorve casi cuantos rayos le hieren se calienta mas pronto que todos los demas.

1522. Los rayos que no se sujetan á la reflexion, ni á la combinacion se franquean un camino fácil, particularmente cuando los cuerpos estan compuestos de láminas delgadas y transparentes.

Con esto se ve por que los cuerpos transparentes parecen de diferentes colores, segun se les observa por medio de rayos reflejados, ó por rayos transmitidos. Este fenómeno se manifiesta de un modo muy sensible en las láminas delgadas y en los anillos colorados.

Segundo esperimento. Si se ponen uno sobre de otro dos vidrios objetivos de los que sirven para grandes telescopios y se comprimen, se ve, mirando de arriba abajo en el punto medio en que se tocan recíprocamente, una mancha negra que está rodeada de anillos colorados y separados los unos de los otros por círculos blancos. Los colores estan dispuestos en el órden que sigue, contando del centro á la circunferencia.

Negro, azul, blanco, amarillo, rojo.
Violado, azul, verde, amarillo, rojo.
Púrpura, azul, verde, amarillo, rojo.
Verde, rojo.

1523. El ojo no recibe mas que los rayos reflejados por el aire que se halla entre los dos vidrios. Su punto de contacto debe pues presentar una mancha negra; pero alejándose de este punto se deben ver anillos diversamente colorados con motivo del diferente espesor de las láminas del aire interpuesto.

Tercer esperimento. Si se apartan los dos vidrios y los rayos luminosos que los atraviesan llegan al ojo, se ve cerca del centro una mancha blanca, y los intervalos que separan los anillos colorados en el esperimento precedente ofrecen, contándose del centro, los colores que siguen:

Blanco, rojo, amarillento, negro, violado, azul.

Blanco, amarillo, rojo, violado, azul.
Verde, amarillo, rojo, verde azulado.
Rojo, verde azulado.

Estos colores estan aun rodeados de colores mas débiles.

1524. Un fenómeno igual se observa en las ampollas que se forman por medio de un soplete con el agua de jabon. Estas ampollas son muy delgadas en su parte superior, porque el agua cuela de todas partes hácia la inferior. Su espesor aumenta sucesivamente en la parte inferior, y esta diferencia de grosor en las diferentes partes de la misma ampolla es la que causa los anillos colorados que parecen de repente, y cuyos colores mudan en el mismo punto, porque el espesor de la ampolla se disminuye á cada instante. De estos esperimentos comparados resulta, 1.º que un cuerpo transparente debe parecer diversamente colorado segun se le observa por rayos reflejados, ó por rayos transmitidos.

2.º Que la variacion de espesor de una pequeña lámina da origen á una variacion en su color.

3.º Que las mutaciones de color son sucesivamente las mismas y segun el mismo órden, cualquiera que sea la densidad ó la fuerza refrinjente de la materia de que está formada la primera lámina. Porque las pequeñas láminas de aire entre dos objetivos y las pequeñas láminas de agua de una ampolla en que el espesor aumenta es mayor, á medida que se alejan del punto medio, ofrecen al aspecto del observador colores constantemente dispuestos en el mismo órden.

1525. Conviene aqui notar que en una lámina mas refrinjente es menester menos espesor que en otra menos refrinjente para que den el mismo color.

Cuarto esperimento. Supuesto todo como en el último esperimento, si se introduce por un lado solamente, entre dos vidrios objetivos, agua en pequeña cantidad, se ve insinuarse poco á poco dentro los vidrios y se observan los mismos colores de los anillos y en el mismo órden, sea en el aire, sea en el agua; pero en este último caso los anillos son mas cerrados, de modo que cuando el agua ha llegado al centro se ven todas las porciones de ani-

llos en el agua, separadas de las porciones de anillos en el aire, y reducidas á un espacio mas estrecho.

1526. El medio que rodea una pequeña lámina en nada influye sobre su color.

Quinto esperimento. Si se toma una pequeña lámina de vidrio tan delgada que parezca colorada, los colores no mudan aunque se moje, es decir aunque se rodee de agua en lugar de aire. Se observa no obstante que los colores de esta lámina mojada son menos vivos que los de la misma lámina rodeada de aire.

De esto resulta que el color de una pequeña lámina es tanto mas vivo cuanto su fuerza refrinjente se diferencie mas de la fuerza refrinjente del medio que la rodea. De esto depende que los colores son menos vivos en una lámina de agua rodeada de vidrio que si es rodeada de aire.

1527. Considerando las superficies de los cuerpos como formadas de una infinidad de pequeñas láminas muy delgadas, se les puede aplicar todo lo que se acaba de decir de una pequeña lámina en particular; lo que conduce á concluir que el color de los cuerpos naturales depende del espesor y de la densidad de las láminas que los componen.

1528. *M. Berthollet* atacó la generalidad de esta conclusion en la segunda edicion de sus *elementos de tintura*, por esperimentos seductivos.

1.° Si los colores que afectan los cuerpos dependieran siempre del espesor y de la densidad de las láminas que los componen, una disolucion de añil desleida en una gran cantidad de agua deberia tomar sucesivamente y ofrecer varias mutaciones y no obstante ella conserva siempre su color azul, y aun el precipitado que forma es tambien azul asi como el licor que sobrenada en él.

2.° Hállanse en la accion de los álcalis de los ácidos efectos que concuerdan con los anteriores, y que todos concurren al mismo objeto. La barita cuya gravedad específica y poca volatilidad son tan grandes comunica al jarabe de violetas el mismo color que el amoníaco, el que al contrario tiene mucha ligereza específica y mucha disposicion elástica. Del mismo modo los ácidos sulfúrico

y fosfórico cambian el color azul de tornasol en rojo como el ácido carbónico: en todas estas circunstancias el espesor y la densidad de los cuerpos son variados, quedando los mismos los colores.

M. Berthollet apoya estas consideraciones con muchas otras que le conducen á concluir que no es menester confundir los colores pasageros que son producidos por la reflejion de las láminas, y que siguen las leyes determinadas por *Newton*, con los colores que se conservan, no obstante las variaciones de densidad y espesor.

1529. Para conciliar los fenómenos de que se acaba de hablar con la ley de *Newton* que hace depender la facultad que tienen los cuerpos de reflejar estos ú otros rayos, del espesor de las láminas que componen su superficie combinado con su densidad, conviene observar que estas láminas tales como *Newton* las concibe, son formadas de hilos muy delicados puestos paralelos los unos á los otros, de los que cada uno puede ser dividido en mayor ó en menor número de partes, sin que el espesor ni la densidad sufran la mas ligera alteracion. Esto es lo que sucede en una disolucion de añil ó de tornasol desleida en mayor ó en menor cantidad de agua; las hebras de que se componen las láminas reflectentes estan divididas en mayor ó en menor número de partes en su longitud. La densidad ni el espesor sufren alteracion alguna y de consiguiente el color queda el mismo. No sucede asi, si la densidad ó el espesor de las partecillas que resultan de la division de estas hebras sufre alguna alteracion; lo que sucede todas las veces que se unen estrechamente á otra sustancia. Toda combinacion muda la densidad y el espesor de las hebras que forman las láminas reflectentes, lo que produce un cambio en el color.

1530. Los tres colores primitivos de que usan las artes se desarrollan en los cuerpos de los tres reinos por una absorcion mayor ó menor de oxígeno que se combina con los diferentes principios de estos cuerpos.

El hierro en su estado natural no tiene color. La primera impresion del fuego ó el primer grado de oxidacion produce un color azul; un segundo grado de oxidacion produce un color ama-

rillo, si la oxidacion se aumenta; el hierro se pone rojo. La mayor parte de los metales presentan los mismos fenómenos.

En el vejetal el azul se forma por la fermentacion, es decir por una fijacion de oxígeno, y la mayor parte de estos colores es susceptible de pasar al rojo por una mayor cantidad de oxígeno. Asi es que el tornasol se enrojece espuesto al aire y por la accion de los ácidos.

Se ve que los mismos colores se presentan en el animal por la combinacion del oxígeno. Cuando la carne se corrompe, el primer grado de oxidacion presenta el color azul; no tarda en manifestarse el color rojo á medida que la oxidacion aumenta. Este fenómeno se ve sensiblemente en la preparacion de los quesos, los que se cubren de repente de un bello azul que despues se pone rojo. La llama en fin de los cuerpos en ignicion presenta los mismos fenómenos: es azul cuando la combinacion del oxígeno es lenta, roja cuando es mas activa, y blanca cuando la oxigenacion es completa. Parece que el *maximum* de oxidacion determina la reflexion de los rayos de cada especie en sus justas proporciones.

Estos hechos que en nada son equívocos conducen á concluir que la combinacion del oxígeno y sus proporciones producen en los cuerpos la propiedad de reflejar este ú otro rayo luminoso, y esto nada tiene de estraño, pues que la combinacion del oxigeno en diferentes proporciones debe cambiar el espesor y la densidad de las láminas y de consiguiente hacer variar los colores.

1531. *M. Herschell* ha sujetado en estos últimos tiempos la esplicacion de *Newton* á nuevos esperimentos; y el resultado que ha obtenido hace que la mire como insuficiente para dar razon del fenómeno de los anillos colorados. El esperimento que sigue es el que mas ha contribuido á fijar su opinion.

Colocó en un cuarto oscuro un espejo metálico muy pulido de siete pies de foco, ajustó una pantalla blanca agujereada por su centro con un agujero de $\frac{1}{10}$ de pulgada de diámetro, por el que introdujo un rayo solar dirigido perpendicularmente sobre el espejo; por este medio la pantalla no recibia rayo luminoso alguno, porque todos los que llegaban sobre el espejo eran recha-

zados por reflejion á un foco colocado precisamente en el agujero por el que habian entrado. Hizo entonces echar por uno de sus ayudantes un poco de polvo de almidon con una borla sobre el hacecillo luminoso. Al instante que la borla halló el hacecillo de luz, la pantalla fue cubierta de un hermoso surtido de circulos concéntricos en que se manifestaban todos los brillantes colores del iris. Se obtiene una grande variedad en la magnitud de los anillos echando por el mismo medio el polvo al hacecillo luminoso á una mayor distancia del espejo. En este esperimento no hay lámina de vidrio interpuesta entre una superficie y otra que pueda producir los colores reflejando algunos rayos luminosos y transmitiendo otros. Los anillos colorados que se forman resultan visiblemente segun *Herschell* de la reflejion de los rayos de luz al rededor de las partículas fluctuantes del polvo, modificados despues por la curvatura de la superficie reflectente.

1332. Cuando el sol se halla cerca del horizonte las sombras parecen coloradas; las que se reciben sobre un plano blanco son de un azul muy vivo; el plano que recibe la sombra está iluminado por los rayos del sol y por los rayos azules que refleja la atmósfera; pero los rayos solares son interceptados por un cuerpo opaco. El plano que se halla en la sombra no recibe pues mas que los rayos reflejados que le dan un color azul.

La llama del alcohol, del gas hidrógeno, del aceite etc. forma tambien sombras que varian por su color.

CAPÍTULO III.

DE LA TRANSPARENCIA, DE LA OPACIDAD Y DE LA FOSFORESCENCIA.

PARRAFO PRIMERO.

De la transparencia y de la opacidad.

1333. Ciertos cuerpos tienen la propiedad de no transmitir el fluido luminoso, cuando otros le facilitan paso mas ó menos espedito. Los primeros se llaman *opacos* y los segundos *transparentes*.

1534. Los fenómenos de la opacidad y de la transparencia han incitado por mucho tiempo la sagacidad de los físicos. Se pensó al principio que un cuerpo era opaco porque el fluido luminoso que se presenta á su superficie halla en su camino moléculas de materia que resistiendo victoriosamente á su paso, le impiden introducirse entre los poros de este cuerpo; y que un cuerpo es transparente cuando sus poros tienen una disposicion rectilínea, la que facilita á los rayos luminosos el modo de pasar al traves de los cuerpos sin chocar con las partes sólidas, y sin esperimentar reflejion alguna. Para destruir esta esplicacion, ha bastado sin duda considerar que cuerpos muy duros y densos, tales como el diamante, ofrecen uu paso libre al fluido luminoso, al paso que cuerpos muy porosos, tales como el corcho, gozan del privilegio de la opacidad.

1535. Para que un cuerpo sea opaco es menester que refleje el fluido luminoso, y que este sea desviado de su camino rectilíneo; y para esto basta que las moléculas de que el cuerpo está formado sean separadas por intervalos vacios ó llenos de un medio que se diferencie en fuerza refrinjente de estas mismas moléculas. Porque si el fluido luminoso penetra este cuerpo, caerá encima la superficie que separa los medios que se diferencian en fuerza refrinjente, y de consiguiente sufrirá una infinidad de reflejiones y refracciones que le obligarán á dispersarse por el cuerpo sin permitirle salir.

1536. Para que un cuerpo sea transparente, basta que los intervalos que separan las moléculas de que está formado, estén llenos de un medio de un mismo poder refrinjente que estas moléculas; porque entonces el fluido luminoso no sufrirá en el cuerpo reflejion ni refraccion alguna; seguirá su camino rectilíneo, y el cuerpo será transparente.

1.° Una hoja de papel se hace mas transparente por su inmersion en el agua, porque el agua llena sus poros, y este líquido difiere menos que el aire en su poder refrinjente comparado con el poder de las moléculas de que se compone el papel.

2.° Llénese una botella de vidrio delgada en parte de agua y

en parte de aceite de terebentina, mas ligero que el agua. Si los dos líquidos quedan el uno encima del otro sin mezclarse, cada uno de ellos conserva su transparencia; pero si se conmueve la botella de modo que los dos líquidos se mezclen, la mezcla sale opaca.

3.° El agua dividida por su propia caida ó por otro medio cualquiera, la clara de huevo batida se hacen opacas, porque el aire que se introduce forma con estas materias un todo compuesto de partes que se diferencian en fuerza refrinjente.

4.° Vidrio molido rajado ó rozado pierde su transparencia; pero la vuelve á cobrar si se mezcla con agua, porque se sustituye al aire, que estaba mezclado con él, un líquido cuya fuerza refrinjente se aproxima mas á la suya.

5.° El hidrógeno adquiere transparencia por su inmersion en el agua, cuya densidad se aproxima á la de la piedra, y desaloja el aire interpuesto en el hidrófano.

1537. Estos esperimentos y muchos otros que podrian citarse confirman la esplicacion que he dado con *Newton* de los fenómenos de la opacidad y de la transparencia; de que resulta que la transparencia es una propiedad particular y variable que es independiente de la porosidad: porque es claro que cuanto mas se aproxima la densidad de las moléculas de un cuerpo á ser igual á la del medio que separa estas moléculas, mas transparente debe ser el cuerpo, y de consiguiente su transparencia seria perfecta si hubiera una exacta igualdad entre la densidad del medio que separa las moléculas de un cuerpo y la de las mismas moléculas; pero en lugar de un medio cuya densidad fuese igual á la de las moléculas de los cuerpos se puede suponer un igual número de moléculas de la misma especie y de la misma densidad que las del cuerpo: por lo que si el cuerpo fuese homogéneo y absolutamente libre de poros, su trasparencia seria perfecta: de que resulta que la transparencia es independiente de la porosidad. Digo mas, esta llega á su límite de perfeccion en el momento en que la porosidad se desvanece; y de consiguiente la grande facilidad con que el fluido luminoso atraviesa los cuerpos diáfanos no puede ser-

vir para probar que los cuerpos son taladrados por los poros.

1538. ¿Pero cómo se podrá combinar el paso libre y fácil de los rayos luminosos al traves de un cuerpo no dotado de poros con su impenetrabilidad?

Si miramos los cuerpos con *Newton*, como compuestos de láminas infinitamente delgadas, y consideramos por una parte la estrema tenuidad de los rayos luminosos, y por otra la grande velocidad que les anima, aumentada aun por la atraccion de la primera lámina del cuerpo sobre el que caen, es fácil concebir que pueden fraguarse paso al traves de las moléculas de la primera lámina. Llegado que hayan á la segunda, de la misma densidad que la primera y que la toca inmediatamente en la hipótesis de que el cuerpo no tenga poros, los rayos son igualmente atraidos segun el mismo sentido; lo que hace que la atraviesen sin mudar de direccion. Sucederá lo mismo hasta á la última que les facilitará igualmente paso, de modo que ningun rayo luminoso será desviado de su camino rectilíneo, y el cuerpo gozará de la mayor transparencia.

§ II.

De la fosforescencia.

1539. Llámasè *fosforescencia* una aparicion de luz durable ó pasagera que no da color sensible, y sin alteracion alguna consecuente en los cuerpos inorgánicos.

1540. Este fenómeno en todos tiempos ha movido la curiosidad de los físicos. Los unos lo miraban como producido por el fluido luminoso interpuesto en los poros de los cuerpos, ó combinado con sus moléculas. Si esto asi fuera, ¿cómo un grande número de cuerpos perderian tan pronto la facultad de lucir por una sola calefaccion por un cuerpo caliente al paso que no podrian recobrarla por medios propios para favorecer esta fijacion, tales como su esposicion á la accion de un calor violento ó á la de los rayos solares?

1541. Otros han pensado què el calórico se transforma en

fluido luminoso por la compresion ó por la elevacion de temperatura. Esta esplicacion es inadmisible para los cuerpos que se hacen fosforescentes por elevacion de temperatura; porque la mayor parte de estos cuerpos pierde irrevocablemente su propiedad fosfórica, cuando se ha calentado con viveza.

1542. Algunos físicos han atribuido todas las fosforescencias á la combustion. Esta opinion es plausible cuando se trata de cuerpos inorgánicos; pero no parece convenir con la fosforescencia de todas las sustancias minerales.

1543. Se ha hecho depender en fin la fosforescencia del fluido eléctrico. *Bergman* refutó esta opinion, y se fundó en que las blendas fosforescentes brillan en el agua como en el aire, al paso que la luz eléctrica se estingue de repente en el agua.

1544. Se habian los físicos dividido entre estas diferentes opiniones, cuando *M. Dessaignes* se dió á indagaciones que han ilustrado mucho este importante objeto.

1545. Distingue cuatro medios de volver la fosforescencia á los cuerpos. Un grande número se hace tal por la elevacion de temperatura de dos modos diferentes. La una es independiente del oxígeno, y comun á todos los cuerpos cuando no mudan de estado por la accion del calor que obra en ellos, la otra es producida por la combinacion del oxígeno con el hidrógeno, la que es comun á todas las sustancias vejetales y animales. La fosforescencia de estas últimas sustancias aumenta siempre en el oxígeno, la que no tienen lugar en las sustancias minerales.

1546. Ciertos cuerpos se hacen fosforescentes cuando se les sujeta á la actividad de los rayos solares. Hay tambien algunos que adquieren fosforescencia por su esposicion á los rayos de la luna. Tal es el sulfureto de *Canton* hecho con tres partes de conchas de ostras calcinadas y de una de azufre. Se citan algunos diamantes que tienen la misma propiedad.

1547. Se hacen tambien luminosos los cuerpos esponiéndolos á descargas eléctricas. El azúcar colocado cerca de una descarga eléctrica se hace luminoso despues de la esplosion. Los óxides vítreos, el muriate de estaño, etc. tienen la misma propiedad.

1548. Algunas sales metálicas, tales como el muriate de mercurio, el sublimado corrosivo, el fosfate de mercurio, etc. se hacen luminosas por el choque mecánico, y ciertos cuerpos tales como las blendas son fosfóricas por el mas ligero choque.

1549. Ciertos cuerpos en fin gozan de la fosforescencia espontánea. Esta es pasagera y fugitiva en la combinacion de una pequeña porcion de agua con la cal cáustica. Es durable y permanente en la madera que luce.

La madera corrompida, las carnes de animales y sobre todo las de los pescados al descomponerse gozan de una considerable fosforescencia; pero estas sustancias necesitan el contacto del aire para lucir. Porque la luz que difunde la madera corrompida, introducida al traves del mercurio en el tubo de un barómetro se debilita y estingue en el espacio de siete á ocho minutos segundos. Los peces fosfóricos dan el mismo resultado. Estos hechos observados con cuidado condujeron á *M. Dessaignes* á concluir que la fosforescencia espontánea es una especie de combustion en la que se produce agua y ácido carbónico.

1550. *M. Dessaignes* se convenció en el curso de sus largas y laboriosas indagaciones que la propiedad fosfórica estaba sujeta en su escitacion á la ley de los cuerpos conductores y no conductores; procuró despues en seguida el probarla por las siguientes observaciones.

1.º Todas las sustancias que contienen una cierta cantidad de agua de cristalizacion son fosforescentes. La creta puesta encima de una pala calentada que no llegue á ser roja se hace fosforescente. El fosfate de cal, el fluate de cal etc., adquieren la misma propiedad en iguales circunstancias. *M. Dessaignes* dedujo de esto que el agua combinada es el manantial de todas estas fosforescencias.

Curioso para conocer como el agua podia concurrir á la produccion del fenómeno de la fosforescencia, *M. Dessaignes* la sujetó á una fuerte presion en tubos del cristal muy gruesos, y la halló muy luminosa en el momento del choque, su luz era parecida en su intensidad y color á la que produce la combus-

tion del gas hidrógeno y oxígeno en el eudiómetro de *Volta*.

M. Dessaignes sujetó á la misma prueba los demas líquidos, todos los sólidos y todos los gases. No hubo uno que no ofreciera el mismo resultado (1).

2.º Los cuerpos metálicos, los sulfuretos esceptuado el de arsénico, y casi todos los óxides no son fosforescentes, y *M. Dessaignes* cree hallar su causa en la facultad mas ó menos conductriz de los elementos metálicos.

3.º Cuerpos despojados de su propiedad luminosa, vuelven á obtenerla electrizándolos (2).

1551. De todos estos hechos y muchos otros cuya enumeracion seria engorrosa, *M. Dessaignes* saca la consecuencia que sigue:

1.º La fosforescencia que adquieren ciertos cuerpos esponiéndoles á los rayos solares, no es el resultado de una absorcion luminosa, sino el de un fluido oculto en el cuerpo puesto en movimiento por la accion repulsiva del fluido luminoso.

2.º El fluido de la fosforescencia está sujeto á la ley de los cuerpos conductores y no conductores.

3.º Esta propiedad no es conciliable con el fluido luminoso ó con el calórico radiante. Esta no puede pertenecer sino al fluido eléctrico.

4.º El fluido de la fosforescencia es de naturaleza eléctrica.

CAPÍTULO IV.

DE LA DOBLE REFRACCION Y DE LA POLARIZACION DEL FLUIDO LUMINOSO.

1552. Si un rayo de luz *ab* (fig. 145) cae perpendicularmente encima la base superior de un romboide de carbonate de cal (espato fluor), se divide en dos de los que el uno *bc*, que se

(1) Jornal de física, *cuaderno de abril* año 1810.

(2) Ibid. *Cuaderno de julio del mismo año.*

llama *rayo ordinario* no es mas que la prolongacion del rayo incidente, al paso que el otro *bc* que se llama *rayo estraordinario* se aleja del precedente.

1553. Si la incidencia del rayo *ab* (fig. 146) es oblicua á la superficie del cristal se divide tambien en dos, de los que el uno *bc* se aproxima á la perpendicular en el punto de inmersion, segun la ley de la refraccion ordinaria, mientras el otro *be* se aparta siempre del precedente.

1554. El plano que pasa por los rayos *bc*, *be*, y que es perpendicular á la superficie refrinjente se llama *plano de la seccion principal*; este es paralelo al eje AB del cristal, el que une los vértices obtusos del romboide y que está igualmente inclinado sobre todas las superficies.

1555. La division que sufre un rayo de luz al traves de un romboide de carbonate de cal hace que los rayos que resultan adquieran una propiedad que debe notarse.

1.° Si estos rayos caen perpendicularmente sobre un segundo romboide cuyas superficies sean todas paralelas al primero, no son susceptibles de ulterior division. El rayo que proviene de la refraccion ordinaria del primer cristal refrinje por refraccion ordinaria en el segundo; y el rayo que proviene de la refraccion estraordinaria del primero refrinje tambien por refraccion estraordinaria en el segundo cristal; de modo que no hay mas que dos rayos de emersion en el segundo cristal.

2.° Si las secciones principales se hallan en ángulo recto, el rayo que proviene de la refraccion ordinaria del primer cristal refrinje estraordinariamente en el segundo y reciprocamente. En esta disposicion como en la precedente, no hay mas que dos rayos emerjentes; pero en todas las posiciones encerradas entre estos dos límites, los rayos que provienen de la refraccion del primer cristal se dividen cada uno en otros dos en el segundo; lo que produce cuatro rayos emerjentes.

1556. Los fenómenos que se acaban de describir establecen un carácter distintivo entre un rayo tal como viene del cuerpo luciente, y otro que atravesando un cristal ha sufrido la influen-

cia de su accion. Este carácter consiste en que el primero puede siempre ser dividido en dos partes; al paso que en el otro, esta segunda facultad depende del ángulo comprendido entre las secciones principales de dos cristales.

1557. El espato de Islandia no es el solo cuerpo que produce el fenómeno de la doble refraccion. Un grande número de otros minerales la tiene tambien aunque en grado menos eminente. Tales son el sulfate de barita, el sulfate de estronciana, el borate de sosa, el cuarzo, la circona, la esmeralda, el azufre, el carbonate de plomo, el sulfate de hierro, etc., etc.

1558. Entre los numerosos servicios que *M. Rochon* ha hecho á las artes y á las ciencias, se debe contar la útil aplicacion del fenómeno de la doble refraccion. Coloca en lo interior de un anteojo un doble prisma móvil de cristal de roca ó de espato de Islandia. Separando este prisma los rayos duplica el foco del objetivo, y la distancia de las imágenes depende de la posicion que ocupa en el anteojo. *M. Rochon* ha puesto esta especie de micrómetro en un grado de perfeccion que le da un grande valor, sea para medir los ángulos en astronomía, sea para medir las distancias terrestres. Véase á este fin una memoria de *M. Rochon*, *Jornal de física, cuaderno de abril de* 1811.

§ II.

Esposicion de la ley á que está sujeta la doble refraccion, y de las principales hipótesis imaginadas para esplicar este fenómeno.

1559. *Erasmo Bertholin* que fue el primero que conoció y anunció el fenómeno de la doble refraccion, la atribuia á la disposicion de los poros al traves de los que pasaba el fluido luminoso.

1560. *Huyghens* estudió despues este fenómeno con mas cuidado, lo describió con mas exactitud. Hizo mas, describió la ley á que está sujeto. Imaginó en el espato de Islandia dos suertes de ondulaciones; en la una la velocidad es la misma en todas direcciones; en la otra esta velocidad es variable y representada por

los rayos de un elipsoide de revolucion, cuyo centro se halla en el punto de incidencia del rayo luminoso en la superficie del cristal, y cuyo eje es paralelo al eje del cristal.

1561. Esta ley es exacta; pero *Newton* desdeñándose de sujetarla á la prueba de la esperiencia, porque estribaba en la hipótesis de las undulaciones de la materia etérea, la condenó al olvido y le sustituyó la siguiente. Cualquiera que sea la inclinacion del rayo de incidencia *ab* (fig. 145), la amplitud *ce* es constante no solo en cuanto á su longitud sino tambien en cuanto á su direccion.

1562. La ley de *Newton* aunque contrariada por la esperiencia, ha tenido por mas de un siglo una injusta preferencia sobre la de *Huyghens*, y para sacar esta última del olvido ha sido menester que en estos últimos tiempos *Wollaston* aplicando á la medida del poder refrinjente del espato de Islandia, un medio ingenioso que habia imaginado para medir la de los cuerpos opacos, haya hecho ver que los rayos cuando han refrinjido con paralelismo á las caras del cristal, siguen una ley de refraccion conforme á la de *Huyghens*.

1563. Este resultado ha llamado de nuevo la atencion de los físicos sobre el importante fenómeno de la doble refraccion. *Malus* ha observado y medido con la mayor exactitud un grande número de fenómenos en superficies naturales y artificiales del espato de Islandia. Verificó en seguida con estas observaciones las diferentes leyes propuestas hasta el dia, y se convenció que la ley de *Huyghens* es la verdadera ley de la naturaleza.

1564. Si *Huyghens* ha descubierto la ley del fenómeno de la doble refraccion, se engañó en la causa que le da orígen. El sistema de las undulaciones de la materia etérea no ha podido resistir á los multiplicados ataques de *Newton* el que le sustituyó ventajosamente su bella teoría de la atraccion. Este grande hombre hace depender de la misma causa, es decir de las fuerzas atractivas y repulsivas que se ejercen á distancias imperceptibles, los fenómenos de la refraccion ordinaria y de la refraccion estraordinaria. Examinando con cuidado el fenómeno que habia

presentado á *Huyghens* la superposicion de dos romboides de espato de Islandia, *Newton* fue conducido á este notable resultado, que es menester admitir en las moléculas luminosas polos que gozan de propiedades diferentes, porque, dice él, si lo que produce la diferencia de la refraccion ordinaria y de la refraccion estraordinaria no fuese propio á los rayos luminosos, y si la sola refraccion les diese esta modificacion, sucederia tambien que en las siguientes refracciones se observarian nuevas y semejantes modificaciones.

§ III.

De la polarizacion del fluido luminoso.

1565. *Malus* ha dado este nombre á la propiedad que tiene un rayo luminoso, cayendo sobre una misma incidencia sobre un cuerpo diáfano, de reflejar ó de dejar de hacerlo segun el lado que presente á la accion de este cuerpo, y siempre de modo que estos lados ó polos del rayo sean en ángulo recto.

Malus ha comprobado la existencia de esta propiedad por medio de delicados esperimentos.

Primer esperimento. Dirijase por medio de un heliostat (1), un rayo de luz solar segun el plano del meridiano, de modo que haga con el horizonte un ángulo de 19 grados, 10 minutos. Se fija en seguida un cristal de espejo sin azogar, en una situacion propia para hacer reflejar este rayo verticalmente de arriba abajo. Debajo de este vidrio se coloca otro paralelo al primero, el que formando con el rayo descendente un ángulo de 35 grados 25 minutos lo refleje de nuevo con direccion paralela á la primera. En

---

(1) *Se llama* heliostat *un instrumento que sirve para mantener un rayo solar en la misma linea durante el tiempo del esperimento, el que se compone de un espejo metálico dirigido por un reloj, de modo que refleja continuamente un rayo luminoso contra el mismo punto.*

este estado si se hace girar el segundo vidrio de modo que su superficie se dirija al este ó al oeste, sin mudar de otra parte su inclinacion con relacion á la direccion del rayo vertical, no refleja un solo átomo de luz ni por su primera ni por su segunda superficie. Si conservándole la misma inclinacion con relacion al rayo vertical se vuelve su cara hácia el sud, empieza de nuevo á reflejar la proporcion ordinaria de fluido luminoso incidente. En las posiciones intermedias, la reflexion es mas ó menos completa segun que el rayo reflejado se aproxima mas ó menos al plano del meridiano. En estas circunstancias en que el rayo reflejado procede de un modo tan diferente, conserva no obstante constantemente la misma inclinacion con razon al rayo incidente. Se ve pues aqui un rayo de luz vertical el que cayendo sobre un cuerpo diáfano procede del mismo modo cuando su superficie reflectente está vuelta hácia al norte ó al sud, de un modo diferente cuando esta superficie está vuelta hácia al este ó al oeste, aunque de otra parte estas superficies formen constantemente un ángulo de 35 grados 25 minutos con la direccion vertical del rayo.

1566. El resultado de este esperimento no permite pues dudar que el fluido luminoso adquiere en ciertas circunstancias propiedades independientes de su direccion, con relacion á la superficie que le refleja; y sí esclusivamente con relacion á los lados del rayo vertical las que son las mismas para los lados sud y norte, y diferentes para los lados este y oeste.

Segundo esperimento. Conservando el aparato que ha servido para el esperimento precedente, se presenta al rayo solar que ha atravesado el primer vidrio, y del que una parte ha sido reflejada, un espejo azogado el que le refleja de arriba abajo, y se obtiene un segundo rayo vertical que tiene propiedades análogas á las del primero; pero en sentido directamente opuesto. Si en este estado se presenta á este rayo un vidrio que forme con su direccion un ángulo de 35 grados 25 minutos, y si sin mudar esta combinacion, se le hacen dar vueltas alternativamente volviendo su cara ahora al norte ahora al este, al sud y al oeste se notan los fenómenos siguientes. Hay siempre una cierta cantidad de flui-

do luminoso reflejado por el segundo vidrio; pero esta cantidad es mucho menor cuando las caras estan vueltas hácia el sud ó norte, que cuando se dirigen hácia el este ú oeste. En el primer rayo vertical se observaba cabalmente lo contrario. El *minimum* de fluido luminoso reflejado sucedia cuando el segundo vidrio estaba vuelto hácia al este ú oeste. Asi haciendo abstraccion en el rayo de la cantidad de fluido luminoso que procede como un rayo ordinario, y que refleja igualmente en los dos sentidos, se ve que este rayo contiene otra porcion de fluido luminoso que es polarizada exactamente en sentido contrario á la del rayo vertical reflejado por el primer vidrio.

1567. Este esperimento hace ver que cuando un rayo de luz cae sobre un vidrio formando con él una incidencia de 35 grados 25 minutos, todo el fluido luminoso que refleja es polarizado en un sentido, y el que atraviesa el vidrio está compuesto de dos porciones, de las que la una es polarizada en sentido contrario con relacion al fluido luminoso que ha sido reflejado, y la otra no modificada conserva los caractéres de fluido luminoso tal como ha salido del cuerpo lúcido. Estos rayos polarizados tienen exactamente todas las propiedades de los que se han modificado por los cristales que dan la doble refraccion.

1568. *Malus* ha hecho unas veces con espejos de cristal, otras con espejos metálicos muchos otros esperimentos igualmente interesantes los que le condujeron á consecuencias interesantes.

1.° Todos los cuerpos de la naturaleza, sin escepcion, polarizan completamente al fluido luminoso que reflejan bajo un ángulo determinado en un ángulo mayor ó menor: el fluido luminoso no recibe esta modificacion sino de un modo incompleto.

2.° Los metales que reflejan mas fluido luminoso que los cuerpos diáfanos polarizan tambien mayor cantidad de este fluido. Véase para mayor inteligencia el *Jornal de física* cuaderno de julio año 1811.

LIBRO DUODÉCIMO.

DE LA ELECTRICIDAD.

1569. La *electricidad* es aquella propiedad que tienen los cuerpos en ciertos estados, en ciertas circunstancias, de atraer y de repeler en seguida los cuerpos ligeros que se les presentan, de arrojar chispas, penachos luminosos, de inflamar las sustancias combustibles, y de escitar fuertes conmociones.

1570. El descubrimiento de esta propiedad tuvo su origen, sus progresos, y obtendrá tarde ó temprano sus límites de perfeccion. Dejo al historiador de la ciencia el cuidado de subir á la época de su origen (1). Me limito en hacer ver que su infancia ha sido larga, y que solo en estos últimos tiempos ha adquirido el vigor, y la brillantez que le han señalado un lugar distinguido entre las ciencias naturales.

Manifestaré luego un abreviado cuadro de los principales fenómenos eléctricos que se han visto desde la época en que empezó á conocerse este fluido. Procuraré despues ligarlos entre sí, por medio de la teoría; la causa, cualquiera que sea, que los produce es conocida bajo el nombre de *fluido eléctrico*.

PARTE PRIMERA.

CUADRO DE LOS PRINCIPALES FENÓMENOS ELÉCTRICOS.

La frotacion, la comunicacion, el contacto y el calor son los medios empleados hasta aqui para producir los fenómenos eléctricos. Hablaré de ellos separadamente siguiendo el órden de los descubrimientos.

(1) *Véase la* historia filosófica de los progresos de la física, *tom.* 1, *cap.* 13.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA ELECTRICIDAD ESCITADA POR LA FROTACION.

1571. Entre los cuerpos naturales el ambar amarillo fue el primero en que se reconoció la propiedad de electrizarse por frotacion. Se manifestó despues en la turmalina, azabache y algunas piedras preciosas; pero la observacion y la esperiencia enseñaron pronto á los físicos que un grande número de otras sustancias poseian, aunque con desigualdad, esta singular propiedad: tales son el vidrio y todas las sustancias vitreas, todas las resinas y los compuestos resinosos, el azufre, la madera secada al horno, todas las materias bituminosas, la cera, la seda, la lana, el algodon, el aire, las plumas, los cabellos, el papel, el azúcar, los aceites, los óxides metálicos etc.

Todas estas sustancias que la frotacion electriza en un grado mas ó menos eminente, retienen el fluido eléctrico como encadenado entre sus moléculas, sin permitirle que se difunda de un modo sensible sobre los cuerpos que las rodean. A estas sustancias las llamamos *malos conductores.*

1572. Los cuerpos que no se electrizan por frotacion de un modo sensible, presentan paso mas ó menos fácil al fluido eléctrico: estos lo transmiten tambien á los cuerpos de la misma especie que estan en contacto con ellos, y les llamamos *buenos conductores.* Tales son en general todos los metales, todos los fluidos á escepcion del aire, y del aceite, las partes fluidas de los animales, el humo, el vapor acuoso, la nieve, el hielo, las sales metálicas etc.

1573. La naturaleza no nos ofrece cuerpo alguno que sea un conductor perfectamente bueno ó perfectamente malo. El fluido eléctrico halla siempre una especie de resistencia en los mejores conductores, una cierta facilidad á escaparse sea al traves de la propia sustancia, sea á lo largo de la superficie de los malos conductores; así es dificil de fijar el término que separa los buenos

conductores de los malos; esta dificultad aumenta aun por la facultad que tienen los malos conductores de salir bastante buenos conductores por el calor y por la humedad, asi el vidrio fuertemente calentado, la resina fundida, la madera en ignicion, el aire caliente ó húmedo, la carne cruda, las carnes frescas prestan un paso bastante fácil al fluido eléctrico. A estos les damos el nombre de *semiconductores.*

Este paso de los cuerpos del estado de malos conductores al de semiconductores, que la humedad determina, necesita la precaucion de enjugar, secar con cuidado, algunas veces aun de calentar fuertemente los cuerpos que se quieran electrizar.

Importa observar que las mismas sustancias diversamente preparadas, pasan del estado de malos conductores al de buenos y recíprocamente segun las diferentes modificaciones que se les hacen esperimentar. Una rama de árbol recientemente cortada es un buen conductor, secada al fuego se hace mal conductor; hecha carbon, vuelve á recobrar su primer estado; reducida á cenizas pierde de nuevo la fuerza conductriz. Esta suerte de metamorfósis se manifiesta en muchas otras sustancias, y probablemente ninguna hay que no pueda pasar del uno al otro de estos estados, por medio de ciertas combinaciones.

Se aisla un cuerpo rodeándole por todas partes de malos conductores, es decir de sustancias á las que no pueda transmitir la electricidad de que está cargado.

1574. Indagaciones relativas á la electricidad que la frotacion escita, condujeron á *Dufay* á un resultado muy importante, pues ha servido para poner los fundamentos de la ciencia, para reconocer las leyes que presiden en los fenómenos de atraccion y repulsion, y para esplicar sus aparentes rarezas.

Esperimento. Suspéndanse por medio de dos hilos de seda dos esferillas de corazon de sauco en las estremidades de un tubo de vidrio recorvado y guarnecido en el punto de suspension de dos esferas de metal. Hallándose las dos esferillas á una pequeña distancia la una de la otra, si se tocan los dos puntos de suspension con un tubo de vidrio electrizado por frotacion, la electri-

cidad del vidrio se comunica á las dos esferillas que corresponden á los dos puntos de suspension, y las dos se repelen. Si se tocan los dos puntos de suspension con un pedazo de lacre electrizado tambien por frotacion, hay tambien repulsion de las dos esferillas; pero si se toca un punto de suspension con el tubo de vidrio, y el otro con el lacre, las esferillas se atraen y marchan la una hácia la otra. Este esperimento confirma de un modo el menos equivoco la existencia de dos especies de electricidad, las que tienen entre sí una diferencia sensible, ó bien una especie de oposicion en cuanto á los efectos á que dan origen. *Dufay* llama á la que se escita por la frotacion del vidrio *electricidad vitrea* y *electricidad resinosa* á la que se escita por la frotacion de la resina. La primera ha recibido despues por *Franklin* el nombre de *electricidad positiva*; y la segunda el de *electricidad negativa*, por razones que se darán á conocer hablando de la teoría de la electricidad.

Importa notar que estas dos electricidades van siempre juntas, es decir, que dos cuerpos de los que el uno á lo menos es mal conductor, se constituyen siempre por su frotacion recíproca en dos estados diferentes de electricidad.

1575. La especie de electricidad que adquiere un cuerpo por medio de la frotacion depende algunas veces de ligeras modificaciones que se imprimen en su superficie, otras veces de la naturaleza del cuerpo con que se frota. *Cavallo* ha publicado á este fin un cuadro de los resultados, que se diferencia en algunas cosas, del que ofrezco á mis lectores. (*Véase el tratado de electricidad por Cavallo*, traduccion francesa, pág. 16 y 17).

1.º El pelo de gato que vive adquiere la electricidad vítrea ó positiva frotado con vidrio pulido, ó deslustrado con lacre, con cera blanca, en una palabra con todas las sustancias que hasta aquí se han esperimentado.

2.º El vidrio pulido adquiere siempre por la frotacion la electricidad vitrea ó positiva, á escepcion de cuando se frota con pelo de gato, ó con mercurio.

3.º El vidrio deslustrado se electriza con electricidad vitrea,

ó positivamente si se frota con la cera blanca, con lacre, en una palabra con una materia resinosa cualquiera; y miro como á tal á toda sustancia inflamable y soluble esclusivamente en los aceites, en el alcohol ó en el éter.

4.° El vidrio deslustrado adquiere la electricidad resinosa ó negativa, si se frota con paño, papel, la mano, pelo de gato etc.

5.° El lacre frotado con discos de cobre, de zinc, de plata etc. aislados, se electriza con electricidad resinosa ó negativa.

6.° La seda blanca frotada con seda negra se electriza positivamente ó con electricidad vítrea.

7.° Los cuerpos resinosos adquieren siempre la electricidad resinosa ó negativa, cualquiera que sea el cuerpo empleado para frotarles, con tal que no sea una sustancia resinosa, porque en este caso cada uno de los cuerpos frotados toma electricidad diferente. Tales son los resultados á los que he sido conducido por esperimentos hechos con exactitud y repetidos á menudo con tanto mayor cuidado cuanto contrariaban hechos que *Cavallo* ha publicado, y que los físicos se han transmitido despues sucesivamente de unos á otros con una ciega confianza.

Asi es que en las ciencias físicas, aquellas sobre todo que como la electricidad presentan un grande número de fenómenos, es útil y algunas veces necesario el ponerse sobre sí, rèvisar con severidad los fenómenos de antiguo origen á fin de confirmar ó de destruir su existencia; en una palabra de sujetar á nuevas tentativas hechos obtenidos en tiempos en que los instrumentos que han servido para establecerlos no habian aun llegado á su término de perfeccion.

CAPÍTULO II.

DE LA ELECTRICIDAD POR COMUNICACION.

1576. Mientras la frotacion fue el solo medio conocido para producir los fenómenos eléctricos, no se vieron mas que fenómenos ordinarios; pero apenas la observacion enseñó que cuerpos conductores aislados y puestos en la atmósfera de actividad de

cuerpos electrizados por frotacion adquirian por un singular influjo, la virtud eléctrica, cuando se ofreció un vasto campo al aspecto de los físicos con el aparato imponente de un grande número de fenómenos producidos igualmente para escitar la sagacidad del sabio, y para estimular la curiosidad de la multitud.

PARRAFO PRIMERO.

Descripcion de los principales instrumentos que sirven para la produccion de los fenómenos eléctricos.

De la máquina eléctrica.

Las principales partes de esta máquina son el disco, las almohadillas y el conductor.

1577. El disco es un plano de cristal muy igual al que se hace dar vueltas verticalmente por medio de un manubrio fijado en el eje de hierro que atraviesa el centro del disco. El diámetro del plano debe ser proporcional á la magnitud del aparato. Un disco de 324 milímetros (24 pulgadas) de diámetro puede dar chispas á 13 milímetros (6 pulgadas) de distancia.

1578. Las almohadillas estan destinadas para escitar la electricidad en el disco de cristal. Estas se hacen de marroquin rojo guarnecidas de clin, ó mejor aun de seda llenas de clin y cubiertas de un pedazo de cuero, dadas de una amalgama la que se adhiere é incrusta fuertemente.

1579. La amalgama da mayor fuerza á la electricidad en el vidrio pulido, todo metal desleido por el mercurio produciria probablemente el mismo efecto; pero la amalgama mas comun está compuesta de dos tercios de mercurio y de un tercio de estaño de hojas, el todo mezclado hasta que resulte una especie de pasta. Una amalgama compuesta de una parte de zinc y cinco partes de mercurio es la que ha merecido y obtenido la preferencia.

1580. Para que las almohadillas esten bien acondicionadas, deben tanto como es posible, llenar las funciones de un buen

conductor en la parte que toca al disco cuando se le hace dar vueltas, á fin de que el fluido eléctrico se transmita á él con prontitud, y tener todas las calidades de un mal conductor en su parte opuesta con el fin de que el fluido eléctrico acumulado sobre el vidrio no refluya. Esta es la razon porque las almohadillas de seda merecen la preferencia á las de marroquin.

1581. El conductor no es otra cosa que un cilindro de metal aislado, guarnecido en una de sus estremidades de una ó muchas puntas, y destinado á recibir inmediatamente la electricidad del disco de cristal. Generalmente se hace de laton. Cuando se quieren evitar gastos puede uno contentarse con un cilindro de carton cubierto de hojas de estaño ó de papel dorado; pero cualquiera que sea la materia que se emplea para hacer los conductores y cualquiera que sea la forma que se les dé es esencial que no tengan ángulos ni puntas, y si es preciso que tenga algunas cavidades ó aberturas, es menester siempre redondear sus bordes y ponerlos perfectamente lisos por razones que pronto se espondrán.

1582. Es preciso que el conductor esté fijado de un modo estable. No debe ser sostenido por cordones de seda; es menester que esté apoyado sobre pies de cristal los que pueden cubrirse de una capa de resina ó de lacre. En una palabra importa que todo el aparato tenga mucha solidez para estar á salvo de un grande número de accidentes á que le espone su fragilidad.

Del electróforo y del condensador.

1583. *Wilk* imaginó otra especie de máquina eléctrica á la que llamó *electróforo*, porque conserva por largo tiempo la electricidad que se le ha escitado: este se compone de dos discos de metal circulares, de los que el uno llamado la *torta* está cubierto de una materia resinosa; el otro que se llama *conductor* tiene en su centro una columna de vidrio que sirve para aislarlo. Se pueden hacer los dos discos de madera, con tal que se tome la precaucion de cubrirlos con hojas de estaño.

1584. Debemos á *Volta* la invencion de otro instrumento lla-

mado *condensador*. Él primero que imaginó consiste en un disco de mármol blanco, sobre el que se coloca un disco de cobre aislado, con el auxilio de un cilindro de vidrio fijado en su centro. Se hace comunicar el cuerpo que se quiere despojar de una muy pequeña cantidad de electricidad con el disco metálico que la recibe por comunicacion; siendo el mármol blanco sobre el que está puesto este disco semiconductor, es decir aislante aunque imperfectamente, si se repite muchas veces la misma operacion, las pequeñas cantidades de electricidad suministradas sucesivamente al condensador se acumularán en la superficie que presenta á su accion de modo que se harán sensibles cuando tomando el disco metálico por su mango de vidrio, se presentará al boton del electrómetro.

El segundo condensador que se debe á *Volta* es el que destina para hacer sensible la electricidad que el contacto repetido de dos metales heterogéneos pone en accion. Este instrumento consiste en un disco de madera de tres decimetros (cerca un pie) de diámetro, y de 27 milimetros (una pulgada) de espesor. Este disco cuya superficie es muy pulida está cubierto de tafetan revestido de una capa de resina elástica. Este tafetan se pone muy tirante en la superficie del disco y sujetado por medio de un cordon que se hace pasar por una muesca hecha en el espesor del disco, el que estrecha fuertemente. Se pone sobre este disco de madera asi cubierto y que comunica con la tierra un disco de cobre que es de un diámetro un poco menor que el primero, el que está aislado por medio de un cilindro de vidrio fijado en su centro.

Volta imaginó un tercer condensador el que se compone de dos discos de cobre de 54 milimetros (2 pulgadas) de radio. Se coje con tornillo uno de estos discos el que se llama *colector* en el lugar del boton del electrómetro, y su superficie superior está cubierta de una ligera capa de barniz. El otro disco que lleva en el centro de una de sus superficies una varilla aislante, y del que la otra está cubierta de una ligera capa de barniz descansa sobre el primero; dispuesto asi el aparato se pone en contacto con el

colector el cuerpo que debe comunicarle pequeñas cantidades de electricidad, y al mismo tiempo se toca con el dedo el disco superior: despues de un cierto número de contactos se quita el último por su varilla aislante. Las hojas ó las pajas del electrómetro se separan, y se determina la especie de electricidad con el auxilio de una barra de lacre electrizada por frotacion.

Lo que se acaba de decir, en lo sucesivo hará ver que el condensador de mármol debe obtener sobre el condensador resinoso una justa preferencia.

De las baterias eléctricas.

1585. Se llama *botella de Leyden* una botella de vidrio en parte llena ó guarnecida de algunos cuerpos conductores, tales como agua ó alguna sustancia metálica, y cuya superficie esterior está en parte guarnecida de una hoja de metal, ó á la que se aplica la mano mientras se hace uso de ella, ó en fin se la hace comunicar inmediatamente con un buen conductor. El tapon está atravesado por una varilla de metal por medio de la que su superficie interior comunica con el cuerpo que le da la virtud eléctrica.

1586. Una varilla de metal terminada por dos pequeños globos, y que por su medio esté montada de modo que se puedan separar, y aproximar sus estremidades, es lo que se llama *escitador*.

1587. Se llama *bateria eléctrica* un número mayor ó menor de vasos de vidrio guarnecidos por dentro y fuera de planchas de estaño en sus partes inferiores, y encerrados todos en una caja de madera tambien forrada de láminas de estaño. Las capacidades interiores de estos vasos comunican entre sí por medio de varillas metálicas, reunidas todas en una esfera y aisladas por una columna de vidrio. Estas varillas metálicas estan en comunicacion con el conductor de la máquina eléctrica, por medio de una verga de metal. Se pone en uno de los lados de la caja una pieza de cobre en forma de escuadra de la que una parte comunica inmediatamente con el forro de estaño de la caja al paso que la

otra sirve para sostener las sustancias que se quieran sujetar á la esperiencia. Este aparato se electriza como la botella de Leyden, y los efectos que produce parecen ser en razon del número y de la capacidad de los vasos.

Del electrómetro.

1588. El electrómetro es un instrumento que manifiesta la presencia y la fuerza de la electricidad. Hay electrómetros de varias especies.

El primero que se imaginó consiste en un hilo de lino terminado por dos esferillas de corazon de sauco ó de corcho. Estas se tocan cuando el hilo está libremente suspendido al conductor. Desde el instante que el aparato se electriza las esferillas se separan y se juzga de la fuerza eléctrica por la magnitud del arco que describen.

1589. El electrómetro de *Henley* no es otra cosa que un semicírculo de marfil sostenido por una pequeña columna de madera, y cuyo centro tiene una varilla muy ligera y móvil con una pequeña esfera de corazon de sauco. El pequeño péndulo se separa mas ó menos de la columna vertical segun el grado de la fuerza eléctrica de los cuerpos con que comunica.

1590. El electrómetro de *Lane* consiste en una columna de madera fijada cerca del conductor, y atravesada por un tornillo de metal terminado en esfera. El tornillo corre un milimetro (½ línea) cada revolucion; y la energía eléctrica se mide por el espacio que separa el conductor de la esfera, cuando con ella se sacan chispas.

1591. El electrómetro de *Cavallo* está compuesto de una especie de frasco de cristal que tiene por base una plancha de cobre, y cuya parte superior tiene una esfera de cobre de la que estan suspendidas por medio de dos bisagras dos esferas de corazon de sauco de muy pequeño diámetro.

1592. El electrómetro de *Volta* representado por la fig. 147 consiste en un frasco de cristal de figura cuadrada AB, del que se ha quitado el fondo para sustituirle otro de cobre en el que se

encola el frasco. Su cuello *f* está guarnecido de una birola de cobre, dispuesta de manera que pueda recibir una pequeña vara de la que estan suspendidas paralelas tanto como es posible dos pajuelas *pp* movibles por medio de un anillo de hilo de metal muy fino que se introduce en la parte superior. Uno de los lados del frasco presenta una graduacion *gg*.

El electrómetro de *Bennet* no se diferencia del de *Volta* sino en que se le sustituyen á las pajuelas hojas de oro batido que son cuatro veces mas movibles que las pajuelas.

En fin el electrómetro de *Coulomb*, es el mas sensible de todos, se construye del siguiente modo. Se tira en la llama de una vela un hilo de goma laca del grosor á poca diferencia de un fuerte cabello y se le da una longitud de cerca veinte y siete milimetros (una pulgada). Una de sus estremidades se fija en lo alto de un pequeño alfiler suspendido de un hilo de seda tal como lo da el gusano de seda. En el otro estremo del hilo de goma laca se fija un pequeño círculo de papel dorado de cuatro milimetros (cerca dos líneas) de diámetro, y queda asi construido el electrómetro. Se coloca suspendido en seguida dentro un cilindro de vidrio á fin de libertarle de los movimientos del aire y se pone una graduacion en la superficie esterior del cilindro. Su sensibilidad es tal que una fuerza de un sesenta mil avos de grano aparta la aguja á mas de 90 grados.

1593. Para conocer por medio del electrómetro, cual es la especie de electricidad que anima un cuerpo, se lleva este aislado al boton del electrómetro. Las hojas de oro ó las pajas se apartan. Entonces se presenta al boton del mismo electrómetro una varilla de lacre electrizada por frotacion; si la diverjencia de las hojas ó de las pajuelas aumenta, el cuerpo de que se trata tiene la misma electricidad que el lacre, y de consiguiente es negativa ó resinosa. Si la separacion de las hojas de oro disminuye, el cuerpo tiene una electricidad diferente de la del lacre, y de consiguiente su electricidad es vitrea ó positiva.

Cuando el cuerpo que se sujeta á la esperiencia no produce mas que una ligera diverjencia en las hojas ó en las pajas del elec-

trómetro conviene frotar ligeramente la varilla de lacre, y presentarla con mucho cuidado, quiero decir, á una distancia mayor ó menor segun las circunstancias del boton del electrómetro, porque si se aproxima bruscamente la varilla de lacre frotada sobre el boton del instrumento, la aproximacion de las hojas no es sensible cuando la electricidad del cuerpo es diferente de la del lacre, porque es seguida de una separacion súbita y grande que puede inducir á error á cualquiera que no esté familiarizado con esta especie de esperimentos.

No es este el solo defecto de los electrómetros de pajas ó de hojas de oro. Cuando el cuerpo que se les presenta está fuertemente cargado de electricidad que supondremos resinosa, y que se designará por el fluido R, las pajas se separan casi hasta tocar las hojas de estaño que hay en lo interior del electrómetro, y entonces si se separan mientras el electrómetro está aun en la esfera de actividad del cuerpo que se esperimenta, el fluido R de este cuerpo arroja al reservorio comun una parte del fluido R de las pajas, las que se hallan asi constituidas en un estado opuesto de electricidad. Si al contrario cuando las dos pajas se han aproximado el cuerpo electrizado pudiese dar una chispa al boton del electrómetro, las pajas y el cuerpo que se ensaya tendrian la misma especie de electricidad: se ve pues que entonces no se puede contar con los resultados que se han obtenido; y á esto puede ser que se deba atribuir la inexactitud de algunos esperimentos que se han hecho en la infancia de la electrometria.

Es menester pues no frotar fuertemente las sustancias muy electrizables que se quieran sujetar á la esperiencia. No obstante esto, si un cuerpo que se quiere examinar estuviese animado de una electricidad considerable se determinaria su especie electrizando al principio las pajas, por ejemplo con electricidad resinosa, se presentaria despues al boton del electrómetro el cuerpo de que se trata, á una distancia bastante considerable, y la separacion ó la aproximacion de las pajas determinada por su presencia indicaria la especie de electricidad que le anima.

§ II.

De la disminucion de la fuerza eléctrica con relacion á la distancia.

1594. Muchos físicos habian desde largo tiempo sospechado que el fluido eléctrico sufria como la luz y la gravitacion, una disminucion proporcional al cuadrado de la distancia; pero la fuerza de la analogía era el solo motivo que determinaba sus sospechas. Estaba reservado á *Coulomb* el convertirla en una verdad demostrada por el testimonio de un esperimento decisivo. Antes de presentarlo á nuestros lectores conviene describir el ingenioso aparato que ha recibido de su célebre autor el nombre de *balanza elèctrica*, porque suministra el medio de establecer equilibrio entre una fuerza eléctrica, y otra fuerza susceptible de ser medida con la mayor precision.

1595. Esta última fuerza conocida con el nombre de *fuerza de torsion* es el esfuerzo que hace un hilo que ha sido torcido para destorcerse y recobrar su primer estado. La fuerza de torsion aumenta con la torsion del hilo, y *Coulomb* ha probado que era en igualdad de circunstancias proporcional al ángulo de torsion, ó al número de grados que corre un punto cualquiera de la superficie del hilo mientras este hilo se tuerce sobre sí mismo.

1596. El aparato de que se trata está compuesto de una grande caja de vidrio de figura cúbica AB (fig. 148), cuya superficie superior está agujereada en su medio por una abertura destinada á recibir el tubo de vidrio M, que se eleva verticalmente. Este tubo está terminado por su parte superior, por una guarnicion de cobre *f* compuesta de muchas piezas que se encajan las unas dentro las otras. El todo está rematado por una esfera de cobre unida á un hilo móvil por frotacion, cuya parte inferior está terminada por unas pinzas que cogen un hilo muy fino de metal, al que está suspendida una palanca muy ligera K: el uno de los brazos de esta palanca está construido de un hilo de seda cubier-

to de goma laca, y terminado por un pequeño plano circular de papel dorado *e*; el otro brazo es un pequeño cilindro de cobre, que no tiene mas que la longitud necesaria para que la palanca se mantenga en una posicion horizontal. Para torcer el hilo hasta á un cierto número de grados, basta hacer rodear un círculo de cobre el que en su movimiento de rotacion arrastra el hilo al que la palanca está suspendida, y se mide la cantidad de torsion por medio de la graduacion adaptada á la guarnicion.

En el interior de la caja y frente de la palanca está fijada una bala de cobre que corresponde al punto *o* de la graduacion 1,2, puesta en uno de los lados de la caja.

Es menester que en el momento de la esperiencia el círculo dorado se halle en contacto con la bala de cobre de modo que el hilo metálico esté libre de toda torcedura; y como la pequeña palanca dejada á sí misma raras veces se halla en la posicion que da el contacto de los dos cuerpos, se pone fácilmente en este estado haciendo rodar la varilla de la que está suspendido el hilo metálico, y es evidente que en este caso el hilo no hace mas que tomar un movimiento de rotacion sobre su eje sin esperimentar la mas ligera torcedura.

Dispuesto todo asi, ved aqui el esperimento tal como lo hizo *Coulomb* en la academia de ciencias en 1785. Este físico electrizó primeramente el círculo dorado y la bala de cobre por medio de un pequeño conductor cargado de electricidad que introdujo en la caja por una abertura practicada al intento en la cara superior. Al instante la bala repelió el círculo á la distancia de 36 grados; y es claro que esta repulsion necesitó una torcedura en el hilo de un igual número de grados. *Coulomb* continuó en torcerle hasta á una cantidad igual á 126 grados, volviendo la bola fijada á la varilla que tiene el hilo suspendido, la repulsion de la bala y del círculo cedió á esta segunda torcedura, y se aproximaron y quedaron á los 18 grados de distancia el uno del otro. Asi en la primera tentativa la bala y el círculo se separaron de 36 grados, lo que produce al mismo tiempo una fuerza de torsion de

36 grados; en el segundo caso la distancia que separa la base del circulo es de 18 grados; pero como se ha torcido el hilo 126 grados, resulta que á una distancia de 18 grados la fuerza repulsiva fue 144 grados; y de consiguiente estando las distancias en la razon de 2 á 1, las repulsiones de la bala y del círculo son en la razon de 1 á 4, es decir en la razon del cuadrado de la distancia.

Para variar este esperimento, *Coulomb* varió de diferentes modos las relaciones de las distancias. El resultado fue siempre conforme con la ley que se ha espuesto. *Coulomb* ha probado despues por medio de esperimentos análogos que las atracciones eléctricas siguen tambien la razon inversa del cuadrado de la distancia. Véanse sus bellas memorias en las colecciones académicas, año 1785 y siguientes.

1597. *Cavendish* ha empleado para medir la densidad de la tierra un instrumento que tiene muchisima semejanza con la balanza eléctrica de *Coulomb*. Solas las dimensiones del aparato son las que estan considerablemente aumentadas; en lugar de un cilindro de vidrio de cerca dos decímetros de radio, se ve un grande cuarto cerrado con mucho cuidado, y anteojos que atraviesan las paredes para poder apreciar los resultados de los esperimentos; en lugar de una aguja suspendida de un hilo tal como sale del capullo, se ve una palanca de cerca dos metros de longitud que tiene en cada estremidad una bala de plomo, la que está suspendida horizontalmente por su medio de un hilo vertical. Estando esta palanca en quietud se aproxima lateralmente por cada una de sus estremidades una gruesa masa de plomo de un diámetro y peso determinados; la atraccion de las masas sobre las balas pone la palanca en movimiento; el hilo se tuerce y en virtud de su tendencia á recobrar su primer estado, hace describir á la palanca pequeños arcos horizontales, como la atraccion de la tierra los hace describir verticales al péndulo. Comparando la estension y la duracion de estas oscilaciones con las del péndulo se obtiene la relacion de sus causas, es decir, de la fuerza atractiva de las masas de plomo y de la del globo de la tierra.

Los bellos esperimentos hechos por *Cavendish* con este aparato del que no se ha dado mas que una grosera descripcion (1) le condujeron al siguiente resultado digno de notarse. La densidad media de la tierra es á corta diferencia casi cinco veces y media como la del agua. Esto no obstante las observaciones de *M. Mas-Keline* hechas cerca de un monte de Escocia le condujeron á concluir que el globo de la tierra es de una densidad media, igual á cuatro veces y media la del agua. Esta diversidad de resultados invita á los físicos á tentar nuevos esperimentos sobre este importante objeto, y á medir los efectos con grande exactitud.

§ III.

De las atracciones y repulsiones eléctricas.

1598. *Primer esperimento.* Frótese con la mano un tubo de vidrio hasta electrizarse sensiblemente: déjese caer sobre este tubo una pequeña hoja metálica, una plumilla ó cualquiera otro cuerpo ligero; este cuerpo es atraido y súbitamente repelido por el tubo. Si en este último estado de repulsion se persigue con el tubo huye con velocidad, segun una direccion cualquiera; pero si encuentra en su marcha otro cuerpo conductor no electrizado, se despoja de su electricidad, vuelve pronto al tubo y se separa inmediatamente de él; de modo que si estuviese libremente suspendido de un hilo de seda entre el tubo y el otro cuerpo de que se acaba de hablar, iria alternativamente del uno al otro.

Segundo esperimento. Suspéndase libremente en el conductor de una máquina eléctrica una borla de hilos: desde el momento que se electriza el aparato se ve que los hilos que estaban reunidos se separan entre sí á una distancia tanto mayor como mas fuerte sea la electricidad.

Tercer esperimento. Colóquense sobre una plancha de metal de 135 á 162 milímetros (5 á 6 pulgadas) de diámetro, hojas de

(1) *Véanse las transacciones filosóficas* 1798, II.ª *parte, página* 469.

oro cortadas en pequeños pedazos, de modo que sean presentadas á 54 milímetros (2 pulgadas) debajo de una semejante plancha suspendida del conductor, y de consiguiente electrizada con él: estas pequeñas hojas de oro son al instante atraidas y despues súbitamente repelidas contra las de debajo, de modo que estas atracciones y repulsiones alternativas se repiten asi tanto tiempo como el conductor esté electrizado.

Para hacer este esperimento mas agradable se sustituyen á estas hojas de oro pequeñas figuras pintadas en un papel bastante recio y recortado segun los colores de la figura. Estas figuras puestas en pie sobre la platina inferior de que se ha hablado son alternativamente atraidas, y repelidas por la platina superior, y parecen danzar entre estas dos planchas.

Cuarto esperimento. Átese al conductor una varilla de metal terminada en punta; preséntesele el interior de un vaso que se tenga con las dos manos, póngause en seguida sobre una mesa algunas balas de corazon de sauco, y cúbranse con el vaso, estas empiezan al instante á saltear contra sus paredes interiores. Este espectáculo es de bastante duracion.

Quinto esperimento. Suspéndanse tres campanillas á lo largo de una plancha de metal que tiene en su medio un garfío para que pueda fijarse en el conductor de la máquina eléctrica. Dos de estas campanas deben estar pendientes de unas cadenillas de metal que bajen de los estremos de la plancha; la campanilla del medio está suspendida de un hilo de seda, como tambien dos pequeños badajos de metal situados entre la campanilla del medio y las laterales. Del interior de la campana del medio baja una cadena de metal que debe tocar en el suelo ó puede tambien tenerse con la mano durante el esperimento. Dispuesto todo asi, se electriza el aparato, y al instante los dos pequeños badajos son atraidos cada uno por la campana lateral correspondiente, chocan con ella, y despues del choque son al instante repelidos hácia la campanilla del medio. Estos movimientos alternativos siguen mientras el conductor de la máquina está electrizado: las campanas suenan entre tanto y hacen una especie de repique.

1599. Estos fenómenos de atracciones y repulsiones eléctricas hicieron imaginar á *Grey* el imprimir á un cuerpo por medio de la electricidad un movimiento elíptico y al mismo tiempo otro de rotacion. Aqui está la descripcion del aparato empleado para este objeto, asi como el verdadero resultado que da la esperiencia.

Sexto esperimento. Suspéndase al conductor de la máquina eléctrica un anillo hecho de hilo recio de laton de cerca 324 milímetros (1 pie) de diámetro; póngase debajo de este anillo una plancha circular de metal puesta encima de un pie de modo que se pueda aproximar al anillo tanto como sea preciso para que las esferas de vidrio de que se hablará no puedan pasar entre el anillo y la plancha; póngase sobre la plancha una esfera de vidrio hecha al soplete y muy delgada. Esta esfera estando en contacto con el anillo por un punto de su circunferencia, si se electriza el aparato, se ve animarse á un tiempo por un movimiento de rotacion, y por otro circular de traslacion; y si el esperimento se hace en la oscuridad la esfera parece luminosa en todos los puntos en que sucesivamente toca en el anillo.

§ IV.

De los penachos eléctricos.

1600. De cualquier modo que se electrice un cuerpo, hay un término de saturacion del que no se puede pasar en acumular fluido eléctrico: de que resulta que desde el momento que el conductor de nuestras máquinas está saturado de electricidad, la que el disco le suministra es al instante arrebatada por los cuerpos ambientes, y particularmente por las moléculas acuosas esparcidas en el aire que las rodea. Si el aparato está bien construido, los conductores bien redondeados en todos sentidos, su superficie pulida, el fluido eléctrico superabundante se disipa, y esta disipacion no se hace sensible. Si el tiempo es muy favorable para los fenómenos eléctricos, el disco suministra al conductor abundancia de este fluido, y la atmósfera se halla en un estado de grande sequedad, la disipacion del fluido eléctrico se manifiesta

por una crepitacion en ciertos puntos del conductor, pero particularmente en el anillo que hay en su estremidad; pero la marcha del fluido eléctrico no es jamas tan sensible como cuando la superficie del conductor está cubierta de asperezas; en este caso se ve al fluido eléctrico como escapa por las partes salientes bajo la forma de un cono luminoso al que se le da el nombre de *penacho.*

Primer esperimento. Átese á dos conductores una cadenilla por sus estremidades, y electrícense fuertemente los conductores. Las asperezas que se hallan necesariamente en la superficie de la cadena, y la inexactitud de la union de sus anillos ofrecen al fluido eléctrico, de que estan sobrecargados los conductores, vehículos al traves de los que se manifiesta su salida. Los penachos luminosos son muy sensibles en la oscuridad; se pueden aun hacer mas hermosos y mayores presentando un cuerpo á alguna distancia del lugar en que parecen.

Segundo esperimento. Fíjese en el estremo de un conductor electrizado una varilla metálica terminada por una punta un poco obtusa, se verá salir de ella un penacho luminoso. Esta especie de penachos forman una gavilla de fuego bastante agradable si se observa en la oscuridad. El efecto es el mismo si se tiene en la mano la varilla metálica de que se trata, estando aislado y haciéndose electrizar.

Si la punta no es redondeada en lugar de un penacho se ve en su estremidad un pequeño punto luminoso; y si se aproxima la mano á alguna distancia de este punto se siente la impresion de un viento fresco que tiene olor de fósforo.

Tercer esperimento. Preséntese la misma punta un poco redondeada y siempre en la oscuridad, á alguna distancia del conductor, se observa que el penacho que antes presentaba se muda en un pequeño punto luminoso.

Cuarto esperimento. Aíslese una punta muy aguda ó póngase en el lugar del anillo del conductor á fin de electrizarlo; póngase sobre esta punta haciendo el oficio de eje un hilo de metal cuyas estremidades sean puntiagudas y encorvadas en sentido

opuesto; electrícese este aparato en la oscuridad, el hilo metálico toma un movimiento retrógrado el que hace ver un círculo entero de luz.

§ V.

Del poder de las puntas.

1601. *Primer esperimento.* Arrímese una punta á un conductor electrizado, y pierde todo el fluido eléctrico que le suministró el disco; de que se sigue que las puntas atraen al fluido eléctrico sin esplosion ni ruido.

1602. Este poder que tienen las puntas de atraer al fluido eléctrico es el que ha dado lugar á la invencion de los pararayos. Se pone en lo mas alto de un edificio una percha que se cubre de resina ó de barniz á fin que sea menos permeable por el fluido eléctrico y para impedir que la humedad la penetre. Encima de ella se coloca una vara de metal puntiaguda de cerca 2922 milímetros (9 pies) de longitud, cuya estremidad lleva una varilla de metal bastante recia que se prolonga hasta la tierra húmeda. Cuando una nube tempestuosa pasa por encima de este aparato, la punta atrae tranquilamente el fluido eléctrico de que está cargada, y lo transmite al hilo de hierro para conducirlo á la tierra.

Segundo esperimento. Aíslese un hombre que tenga en la mano una varilla metálica terminada por un lado por una esfera, y por el otro por una punta; este no recibe fluido eléctrico cuando presenta la esfera á algunos decímetros de distancia del conductor; pero recibe bastante para dar chispas si presenta la punta á la misma distancia. Síguese de aqui que las puntas atraen el fluido eléctrico á mayor distancia que los cuerpos redondos.

Tercer esperimento. Preséntese una punta al conductor electrizado; no se saca de él chispa alguna. Las chispas vuelven á parecer si se presentan muchas puntas á un tiempo. De que se sigue que muchas puntas se impiden recíprocamente y no transmiten el fluido eléctrico con la misma celeridad.

§ VI.

De las chispas, inflamaciones y combustiones.

1603. *Primer esperimento.* Preséntese á alguna distancia de un conductor electrizado una articulacion de los dedos ó un conductor cualquiera, y se sacan chispas vivas y brillantes. Este efecto no tiene lugar, 1.º si se presentan malos conductores al cilindro metálico; 2.º si los buenos conductores que se presentan terminan en punta; 3.º si tocan al conductor electrizado.

Segundo esperimento. Aíslese un hombre que tenga en la mano una varilla de metal que comunique con el conductor electrizado; preséntese á una parte cualquiera de su cuerpo la articulacion de un dedo y se sacan chispas. Si se pasa la palma de la mano por encima su cabeza, sus cabellos se erizan al instante, y ofrecen una especie de borla luminosa en la oscuridad.

Se pueden multiplicar las chispas por una serie de conductores poco distantes los unos de los otros, en que el último comunique con el depósito comun. La transparencia del vidrio ofrece tambien el medio de iluminar figuras, y de escribir en caractéres de fuego.

Tercer esperimento. Péguense sobre una lámina de cristal hojas de estaño que sean cada una de figura cuadrada, de modo que sus ángulos sean opuestos y separados por un pequeño espacio. La primera y la última de estas hojas comunican con dos pequeños globos de metal. Tóquese uno de estos mientras se presenta el otro al conductor, y se ve, particularmente en la oscuridad una serie de chispas que llenan los espacios que separan los pequeños cuadrados.

Cuarto esperimento. Suspéndase una esfera de metal de una varilla que comunique con el conductor; preséntese debajo de esta esfera un pequeño vaso que contenga éter, al instante sale de la esfera una chispa la que inflama el líquido.

Se puede producir el mismo efecto de diferentes modos; 1.º si un hombre aislado aproxima su dedo al éter que se le presenta

por otra persona no aislada; 2.º si el hombre aislado y electrizado tiene el vaso de éter y la persona no aislada le aproxima la articulacion del dedo.

Puédese tambien por medio de la chispa eléctrica encender una bujía que se acaba de apagar si se da al pávilo el tiempo de carbonizarse.

1604. *M. Nelis* publicó en el *Jornal de física* bajo el velo de anónimo una bella serie de esperimentos acerca cañones de acero ó de hierro espuestos á la esplosion eléctrica. Llegó á hacer reventar un cilindro de acero de cerca 20 milímetros de radio por medio de una batería de 30 metros de superficie, la que descargó setenta veces. El autor piensa que la grande fuerza de esplosion necesaria para producir semejante efecto proviene del estado aeriforme que el fluido eléctrico da á la pequeña lámina de plomo que conduce este fluido al agua de que está lleno el cilindro.

Creo que los límites prescritos á esta obra no me permiten describir muchos otros esperimentos igualmente interesantes de este físico, cuya sagacidad es igual á su modestia.

§ VII.

De las conmociones eléctricas.

1605. *Primer esperimento.* Tómese con la mano la armadura esterior de una botella de Leyden, y preséntese su conductor á un conductor electrizado. Si se toca despues el conductor de la botella con la otra mano se siente una súbita conmocion cuyo grado de fuerza y actividad depende de la carga de la botella, y de la sensibilidad de la persona que se sujeta á este esperimento.

Si se forma una cadena de un número cualquiera de personas que se den las manos, todas esperimentan la conmocion en el instante en que la primera toca, ó á lo menos comunica con la superficie esterior y la última toca con el dedo el conductor de la botella: de que se ve que el fluido eléctrico que causa la conmocion se halla al mismo tiempo en las dos estremidades de la cadena, y de consiguiente que está animado de una velocidad

inconcebible. El siguiente esperimento hará mas sensible y chocante esta verdad.

Segundo esperimento. Hágase pasar un hilo de hierro á lo largo de las paredes de una grande sala; fíjense á este alambre y á diferentes distancias pistolas de *Volta* cargadas de gas hidrógeno y oxígeno en la razon de 3 á 2. Si uno de los estremos del hilo comunica con la superficie esterior de la botella, y se presenta su conductor al otro estremo del hilo, la mezcla de los gases se inflama al instante; todas las esplosiones se confunden y no forman mas que una sola, los tapones de las pistolas arrojados con violencia, se ven al mismo instante en medio de la sala. Se puede cargar una botella teniéndola por el conductor y presentando la armadura esterior al conductor electrizado.

Un cuadro de vidrio ó de cristal al que se peguen hojas de estaño una sobre cada una de sus superficies con la precaucion de dejar á descubierto 30 milímetros (15 líneas) de ancho, produce el mismo efecto.

Se coloca este aparato conocido con el nombre de *cuadro mágico* encima una mesa; se pone sobre la mesa y debajo del vidrio una cadenilla que se deja que cuelgue hasta la tierra para establecer comunicacion entre la superficie inferior y el depósito comun; se aplica en la superficie superior del vidrio una varilla de metal que corresponde al conductor electrizado. En este caso si se toca al mismo tiempo la cadena y la armadura superior ó el conductor se siente al instante una viva conmocion.

Tercer esperimento. Se toma un grande vaso de cristal cuyas dos superficies esten cubiertas de una lámina de estaño, hasta cerca 40 milímetros (19 líneas) de los bordes. Si se rodea de una cadena que baje hasta la tierra, y se pone en el interior una varilla de metal que comunique con el conductor electrizado, se siente una violenta conmocion si uno sirve de conductor entre las dos superficies. Para evitar este riesgo nos servimos del escitador con el que se toma la estremidad de la cadena que se presenta al conductor.

La bateria eléctrica produce los mismos efectos con una ener-

gia que aumenta en razon del número y de la capacidad de los vasos. El peligro de las conmociones exije en esta especie de esperimentos el uso del escitador.

Cuarto esperimento. Colóquese una botella cargada detras de la puerta de un cuarto, de modo que el conductor de la armadura interior esté cercano á la aldaba que está unida con la llave. Suspéndase en el garfio que está debajo del fondo de la botella un hilo de hierro que se dirija á fuera por debajo la puerta, el que se una con otros hilos escondidos de intento debajo un tapiz de paja. El que quiere entrar en el cuarto comunica con la superficie esterior de la botella por medio de los hilos de hierro que pisa sin advertirlo, y con la superficie interior por medio de la aldaba que toca el conductor cuando vuelve la llave, recibe una conmocion súbita, y el miedo que se apodera de él aumenta por el efecto de la sorpresa.

Quinto esperimento. Aíslese una botella de Leyden de modo que comunique con el conductor electrizado.

Quítese por medio de un cristal ó de un cuerpo cualquiera mal conductor. Si se prueba el esperimento no se recibirá conmocion, ni tampoco se sacará chispa si el aire es bien seco.

Este esperimento prueba que una botella no puede electrizarse sino cuando su superficie esterior comunica con cuerpos conductores.

Sexto esperimento. Suspéndase una botella del conductor de la máquina, y una segunda botella del garfio del fondo de la primera; fíjese en el fondo de la segunda una cadena que comunique con el suelo. Las dos botellas se electrizan, y se hallan en estado de escitar la conmocion.

Séptimo esperimento. Cárguense dos botellas de Leyden y colóquense despues á una cierta distancia la una de la otra. Aplíquese la esfera del escitador á la armadura de una de estas botellas, mientras se presenta la otra esfera al conductor de la armadura interior de la segunda; en este caso no sale chispa, al paso que se escita si por medio de una cadena se establece comunicacion entre las superficies esteriores de las dos botellas.

Octavo esperimento. Cúbrase una de las esferas del escitador con algodon y polvo de pez griega, descárguese por medio de este instrumento una botella de Leyden: el algodon se inflama al instante.

Noveno esperimento. Hágase pasar la chispa de un grande vaso de vidrio guarnecido de hojas de estaño, y electrizado al traves de un pequeño cuaderno de papel que toque con la armadura esterior del vaso: las hojas del papel son al instante agujereadas, y se difunde un olor de fósforo.

Décimo esperimento. Colóquese una hoja de oro entre dos vidrios puestos entre una pequeña prensa, de modo que la una de las estremidades de esta hoja esté en contacto con la armadura esterior de la bateria eléctrica, y que la otra comunique con uno de los brazos del escitador. La chispa reduce el oro á polvo que se incrusta en el vidrio. Este esperimento facilita un medio para grabar una figura recortada; basta colocarla entre dos naipes, aplicados sobre los vidrios y cubrirla de hojas de oro.

Undécimo esperimento. Establézcase un hilo de hierro muy delgado entre dos pinzas redondeadas, de modo que la estremidad de la primera toque la guarnicion esterior de la bateria, y la otra esté en contacto con uno de los brazos del escitador. Hágase pasar la chispa al traves de las pinzas: el hilo de hierro se funde de repente en pequeños globos negros.

Esperimento duodécimo. Póngase una ave en la varilla que sirve para establecer la comunicacion entre el conductor y la superficie interior de la bateria; cárguese fuertemente el aparato; llévese despues una de las esferas del escitador sobre la armadura esterior de la bateria, y la otra sobre la cabeza del animal; siente este al instante una conmocion tan violenta que le mata.

§ VIII.

De los fenómenos eléctricos en el vacio.

1606. El aire es un mal conductor el que cuando está seco resiste fuertemente al paso del fluido eléctrico. Desde el instante

que este obstáculo se quita, este fluido se mueve con mayor libertad y produce fenómenos muy propios para escitar la curiosidad. Un tubo de vidrio bien purgado de aire y terminado por una pieza de cobre redondeada se llena de una luz purpúrea desde el momento que se presente la estremidad metálica del tubo al conductor electrizado para sacar chispas de él. Un vaso de cristal purgado de aire dentro del que penetre una varilla metálica hace ver un cono de luz purpúrea cuyo vértice está en la varilla, y la base se despliega hácia el fondo cuando se saca una chispa de la armadura interior de este vaso. Puédense modificar estos fenómenos variando los aparatos, y hacer producir al fluido eléctrico el espectáculo interesante de manojos de fuego, cascadas luminosas, y fuegos que se enlazan de diferentes modos en el instante de su erupcion.

Esperimento. Cárguese una botella de Leyden por su conductor, quítese este conductor con una varilla de lacre; colóquese la botella asi cargada debajo el recipiente de la máquina neumática y hágase el vacío; se ve salir el fluido eléctrico copiosamente del cuello de la botella y dividirse en varios chorros que se encorvan para marchar á la superficie esterior de la la botella. Si se carga la botella por su superficie esterior y se sujeta al mismo esperimento se ve que el fluido eléctrico marcha de su superficie esterior por chorros que van encorvándose, y se precipita en el cuello de la botella.

§ IX.

De los fenómenos eléctricos relativos á la vejetacion y á la economia animal.

1607. *Primer esperimento.* Tómense dos vasos iguales llenos del mismo liquido; electrícese el uno de ellos, el líquido que este encierra se evapora con mas prontitud que el del vaso que no se ha electrizado.

Segundo esperimento. Suspéndase del conductor un vaso de metal agujereado en su fondo por muchos orificios, en cada uno

de los cuales se adapta un tubo capilar. El agua de que se supone lleno el vaso no sale sino con mucha lentitud mientras se halla en su estado natural, pero desde el instante que se electriza el aparato, el derramen es mucho mas rápido. Se ve aun derramarse en forma de chorros diverjentes hasta á una grande distancia.

1608. Estos efectos confirman que la electricidad acelera la evaporacion de los líquidos, y favorece su derramen por tubos capilares. *Mimbray* en vista de esto conjeturó que la electricidad seria favorable para la vejetacion, acelerando la circulacion de los jugos destinados á la nutricion de los vejetales; y esperimentos nada equívocos justificaron luego esta conjetura. Vió en 1746, que los mirtos electrizados echaron ramas y botones mas pronto que otras plantas de la misma especie y de la misma edad que se habian dejado en su estado natural.

1609. Muchos físicos han hecho numerosos esperimentos y han siempre obtenido semejantes resultados. La germinacion de las semillas ha sido mas pronta por el influjo de la electricidad. Cebollas de vara de jasé y de jacintos colocadas encima garrafas llenas de agua, y electrizadas han vejetado mas rápidamente que en su estado natural.

1610. Estos fenómenos hicieron imaginar á *Nollet* que la electricidad podria ser aplicada con ventaja á la economía animal, sobre todo en las circunstancias en que se tratase de volver el movimiento á miembros paralizados. Los primeros ensayos de *Nollet* no tuvieron suceso. Algunos médicos de Italia fueron despues mas felices; pero el entusiasmo y el charlatanismo exageraron sus pretendidas curaciones. El influjo de la electricidad reducido á su justo valor se limita en el dia á ofrecer un remedio útil para el reumatismo, las paralisis y otras enfermedades á que dan lugar la engurgitacion de las partes, y la estagnacion de humores.

CAPÍTULO III.

DE LA ELECTRICIDAD POR SIMPLE CONTACTO.

1611. El descubrimiento de la electricidad por contacto es moderno. *M. Volta* reconoció esta singular propiedad en los metales heterogéneos, y se sirvió de ella con destreza para esplicar los fenómenos de la pila.

1612. Las sustancias resinosas se electrizan tambien por contacto con todos los cuerpos de la naturaleza. Esta nueva propiedad está apoyada en un grande número de esperimentos que describiré con cuidado y de que afianzo la exactitud. Se verá que su existencia se demuestra siempre con los caractéres de la certitud, y acompañada de fenómenos contrarios á las opiniones generalmente recibidas y que empezaron en tiempos en que la ciencia de la electricidad estaba aun en su cuna.

PARRAFO PRIMERO.

De la electricidad que se manifiesta por el contacto de dos metales heterogéneos.

1513. *Primer esperimento.* Pónganse en contacto inmediato dos metales diferentes aislados y que no tengan mas que la cantidad de electricidad que les compete en su estado natural. Cuando se apartan del contacto se hallan en estados eléctricos diferentes. El uno se halla electrizado con electricidad vítrea ó positiva, y el otro con electricidad resinosa ó negativa.

Por cada contacto la diferencia es insensible, pero cuando se acumula en un condensador eléctrico se hace bastante poderosa para separar muy sensiblemente el electrómetro. Importa observar que la accion no se ejerce jamas á distancia, solo tiene lugar en el contacto de los diferentes metales. Mientras dura el contacto, subsiste; pero no la tienen igual todos los metales. En el contacto del zinc con el cobre, la plata etc., estos adquieren la

electricidad resinosa ó negativa, y el zinc la electricidad vítrea ó positiva.

Segundo esperimento. Despues de haber formado una lámina metálica con dos metales, el uno zinc y el otro cobre soldados perfectamente por uno de sus estremos, se toma entre los dedos la estremidad de la lámina de zinc, y se toca con la otra estremidad cobre el disco superior del condensador el que es tambien de cobre, este adquiere la electricidad resinosa ó negativa.

Tercer esperimento. Estando todo dispuesto como en el esperimento precedente, se toma entre los dedos la estremidad cobre, y se toca con la otra estremidad que es zinc el disco superior del condensador que es de cobre. Cuando se quita el contacto y se eleva el disco superior, no ha adquirido electricidad alguna aunque el disco inferior comunique con el reservorio comun.

Cuarto esperimento. Se pone entre el disco superior del condensador y la estremidad zinc un papel embebido de agua pura, ó cualquiera otro conductor húmedo, el condensador adquiere la electricidad resinosa ó negativa, si se toca con la estremidad cobre el disco cubierto con el conductor húmedo, teniendo entre los dedos el estremo zinc.

§ II.

De la electricidad que se manifiesta por el contacto de cuerpos resinosos con las sustancias metálicas.

1614. *Primer esperimento.* Puse sobre un disco de madera cubierto de tafetan dado con resina elástica (1), y de 148 milímetros de radio (cerca 5 pulgadas y media) un disco de cobre amarillo que pesaba 13 hectógramos (cerca 2 libras y media) el

(1) *La resina elástica es conocida con el nombre de* goma elástica. *Esta denominacion es impropia, porque esta sustancia es inflamable, insoluble en el agua, y soluble en el éter, y en los aceites, lo que caracteriza las resinas.*

que tenia 135 milímetros de radio (5 pulgadas), y aislado por un cilindro de vidrio fijado en su centro. Los dos discos se hallaban al principio en su estado natural, es decir, que no daban en el electrómetro, el mas sensible, señal alguna de electricidad; y se tomaron todas las precauciones para no hacerles sufrir rozamiento alguno en el acto de la superposicion. Un instante despues tomé el disco de cobre por su mango de vidrio, y lo puse encima el boton del electrómetro de *Bennet*; la separacion de las hojas de oro fue considerable. En este caso presenté al boton del electrómetro una barra de lacre electrizada por frotacion, y la diverjencia de las hojas aumentó, de lo que se ve que el disco de cobre gozaba de una electricidad negativa ó resinosa.

Segundo esperimento. Para asegurarme que el tafetan resinoso habia adquirido la electricidad vítrea ó positiva coloqué sobre el disco de madera cubierto de tafetan resinoso y aislado, el disco de cobre el que retiré algunos instantes despues del contacto. Hice comunicar el tafetan resinoso con el electrómetro, por medio de un largo hilo de plata fijado en su boton por un estremo, y el otro envuelto en espiral tocaba diferentes puntos del tafetan resinoso. Las hojas de oro se separaron considerablemente, y su aproximacion súbita determinada por la presencia de una barra de lacre frotada me indicó del modo menos equívoco la existencia de la electricidad positiva ó vítrea. Es inútil advertir que antes del esperimento el disco metálico y el de madera cubierto de tafetan resinoso se pusieron en su estado natural.

Tercer esperimento. Al disco de cobre empleado en los esperimentos precedentes, sustituí un disco de zinc que pesaba 3 hectógramos (cerca 6 onzas), de 40 milímetros (cerca una pulgada y media) de radio, y aislado por un cilindro de vidrio fijado en su centro. Puse este disco sobre el tafetan resinoso procurando el contacto y presentado al electrómetro de *Bennet*, la electricidad resinosa ó negativa se manifestó por una grande diverjencia de las hojas del electrómetro.

Cuarto esperimento. La figura 149 representa dos discos enfilados por el mismo eje de vidrio. El disco inferior C es de co-

bre, el superior Z es de zinc. Este tiene el mismo diámetro que el primero, á escepcion de los puntos *a*, *b* que presentan una lámina de zinc escedente. Este par unido por el contacto descansa sobre el tafetan resinoso, de modo que la superficie inferior del disco de cobre es aplicada encima la resina, y la superficie superior contra el zinc. Retirado de repente del contacto, favorecido por una ligera presion, se obtienen señales semejantes de electricidad resinosa ó negativa, sea que se presente al boton del electrómetro la superficie inferior del disco de cobre, sea que se le presente el borde escedente del disco de zinc.

Este esperimento prueba que los cuerpos resinosos ejercen sobre los metales que tocan una accion electromotriz mucho mas poderosa que la que los metales en contacto ejercen los unos contra los otros.

Quinto esperimento. Dos discos, el uno de zinc, el otro de cobre, que tenian el mismo peso y cada uno 40 milímetros (una pulgada y media) de radio se pusieron al mismo tiempo encima tafetan resinoso, á una distancia el uno del otro de 80 milímetros (cerca 3 pulgadas). Un instante despues tomé por su mango de vidrio el disco zinc y lo presenté al boton del electrómetro de *Coulomb*. El pequeño disco de papel dorado corrió 218 grados de la graduacion, y se fijó á los 118. Tomé en seguida el disco de cobre, que estaba sobre el tafetan resinoso, y habiéndolo puesto sobre el boton del electrómetro el pequeño disco de papel dorado que se habia puesto á cero y completamente despelectrizado, corrió 220 grados de la graduacion, y se fijó á los 150.

Sexto esperimento. Un disco de plata aislado que tenia 14 milímetros (cerca de media pulgada) de radio adquirió del mismo modo por contacto con el tafetan resinoso, la electricidad negativa ó resinosa. Presentado al electrómetro de *Coulomb* hizo correr 60 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que se fijó en fin á los 48.

Cuando se pone zinc entre cobre y cobre no se mueve electricidad. Sucede lo contrario si se pone entre cobre y cobre tafetan resinoso.

Séptimo esperimento. Puse sobre un disco de cobre aislado y cubierto de tafetan resinoso, otro disco de cobre parecido al primero, el que retiré casi súbitamente del contacto por medio de su mango de vidrio, para presentarlo al boton del electrómetro de *Bennet.* La considerable separacion de las hojas de oro, y su súbita aproximacion determinada por la presencia de un cilindro de vidrio frotado, me anunció la existencia de la electricidad resinosa ó negativa.

Estos resultados ofrecen una diferencia ó bien una especie de oposicion que por esto no debe sorprendernos. Esto procede de que el zinc es buen conductor, y el tafetan resinoso mal conductor del fluido eléctrico. Porque cada superficie del tafetan resinoso colocado entre los discos metálicos obra sobre el que la toca; y esta accion electromotriz debe ser eficaz, por la misma razon que el tafetan resinoso es mal conductor. Basta para convencerse de esto, parar la atencion en que en virtud de la facultad no conductriz, las dos superficies resinosas deben conservar la electricidad adquirida, y de consiguiente deben obrar como si estuviesen aisladas sin perder el contacto del cuerpo metálico.

Los esperimentos que acabo de describir han sido hechos con tafetan cubierto de una capa de resina elástica. Despues los repetí empleando las sustancias resinosas que siguen:

1.° Lo que se llama vulgarmente *tela encerada*, y que no es otra cosa que tela cubierta de una capa de resina grosera disuelta en el aceite.

2.° Tafetan cubierto de una capa de cera blanca.

3.° Tafetan cubierto de una capa de lo que se vende en el comercio con el nombre de *resina.*

4.° Tafetan cubierto de una capa de lacre.

Estas dos últimas sustancias habian sido antes disueltas por el alcohol.

El resultado ha sido siempre el mismo en cuanto á la especie de electricidad, es decir, que un disco metálico puesto sobre la tela encerada, sobre tafetan cubierto de lacre ó de una cera cualquiera, ha adquirido la electricidad resinosa ó negativa; y de

consiguiente la sustancia resinosa empleada ha recibido la electricidad positiva ó vítrea. El efecto es tanto mas señalado cuanto mas se favorezca el contacto por medio de la presion, y el tiempo sea mas favorable á la electricidad.

En cuanto á la intensidad de la accion electromotriz que ejercen sobre los metales estas diferentes sustancias resinosas, esta no es igual. El tafetan cubierto de resina elástica ejerce una accion mas poderosa que la tela llamada comunmente *tela encerada*, y esta respectivamente obra con mayor fuerza que el tafetan cubierto de lacre, sea que esta diferencia de efectos dependa de la diferente calidad de resinas, sea que, como tengo motivo de sospecharlo, tenga por causa la naturaleza del disolvente.

§ III.

De la electricidad que se manifiesta por el contacto de cuerpos resinosos con las sustancias vitreas y calcáreas.

1615. *Primer esperimento.* Un disco de vidrio muy pulido de 14 milímetros (cerca de una pulgada) de radio, aislado por una barra de lacre fijada en su centro, se puso sobre tafetan resinoso, favorecido el contacto por la presion, y retirado súbitamente del contacto y presentado al electrómetro de *Coulomb*, este disco de vidrio hizo correr 90 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que despues de algunas oscilaciones se fijó á 56 grados. La electricidad era negativa ó resinosa.

Un disco de ágata de 14 milímetros (media pulgada) de radio, puesto encima tafetan resinoso y presentado despues al mismo electrómetro hizo correr 166 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado el que se fijó á 88. La electricidad era resinosa ó negativa.

Segundo esperimento. Discos de cristal de roca, de jaspe, de mármol negro, de alabastro, aislados y de cerca 14 milímetros (media pulgada) de radio, adquirieron por el mismo medio la electricidad negativa. Presentados sucesivamente al electrómetro de *Coulomb*,

El cristal de roca hizo correr 60 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que se fijó á 40;

El jaspe hizo correr 115 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que se fijó á los 80;

El mármol negro hizo correr 210 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que se fijó á los 100;

El alabastro hizo correr 196 grados de la graduacion al pequeño disco de papel dorado, el que se fijó á los 82.

Conviene advertir que cuando se hicieron estos esperimentos comparativos como tambien los que se han descrito en el articulo precedente, el termómetro de *Reaumur* (escala centigrada) señalaba 16 grados, y el hidrómetro de *Sausure* 85. Ved ahi pues un medio hasta ahora no conocido, de electrizar siempre por electricidad vitrea ó positiva las sustancias resinosas, de electrizar siempre por electricidad resinosa ó negativa el vidrio pulido, las sustancias silíceas, las sustancias calcáreas, las sustancias metálicas, etc. El instrumento que sirve á este fin, y al que llamo *electromotor resinoso* se compone de un disco de madera, de una ó mejor aun de muchas cubiertas de tafetan resinoso, con las que se cubre su superficie superior. En fin de un disco de vidrio, de metal, de ágata, de mármol, etc., etc., aislado por medio de una barra de lacre ó de vidrio, segun las circunstancias, la que se fija en el centro de cada disco. He dicho de una ó mejor aun de muchas capas de tafetan resinoso, porque la esperiencia me ha enseñado que la fuerza de la electricidad y la prontitud en desarrollarse aumentan con el número de capas.

§ IV.

De la electricidad que se manifiesta por el contacto de cuerpos resinosos con las sustancias animales y vejetales.

1616. *Primer esperimento.* Fijo por tornillo en el boton del electrómetro de *Bennet* un disco de cobre muy pulido sin barniz; cubro este disco de tafetan cubierto por ambas caras de resina elástica, y aplico despues una mano sobre el tafetan favorecien-

do el contacto por la presion. Desde el momento que retiro la mano las hojas del electrómetro se separan considerablemente, y la electricidad que se manifiesta es vítrea ó positiva. Puestas despues las hojas de oro en su primera posicion quito el tafetan que cubre el disco de cobre, las hojas se separan de nuevo; pero en este caso la electricidad es resinosa ó negativa.

Es claro que en este esperimento cada superficie del tafetan resinoso obra, la una contra la mano, la otra contra el disco de cobre. En virtud de esta accion electromotriz las dos superficies del tafetan adquieren la electricidad vítrea ó positiva, al paso que el disco de cobre, y mi mano reciben la electricidad resinosa ó negativa. Desde el momento que retiro mi mano del contacto la electricidad vítrea ó positiva del tafetan resinoso debe manifestarse por la diverjencia de las hojas del electrómetro, y por su aproximacion cuando se arrima una barra de lacre frotada. Si quito despues el tafetan que cubre el disco de cobre, es la electricidad del disco la que se hace sensible en el electrómetro, y esta electricidad es resinosa ó negativa. El resultado será el mismo si en lugar de la mano se sustituye una sustancia animal cualquiera; el suceso del esperimento será tanto mas señalado cuanto mas perfecta sea la aplicacion de las superficies. Asi la cubierta de un libro encuadernado ó una piel de animal cualquiera muy tendida, son mas propias para esta suerte de esperimentos que la mano, la que por su forma, no facilita el aumento de puntos de contacto.

Segundo esperimento. En el mismo aparato que en el esperimento precedente, aplico sobre el tafetan resinoso que cubre el disco de cobre, un disco de madera muy pulido, favoreciendo el contacto por una ligera presion. Desde el momento que retiro del contacto el disco de madera, las hojas del electrómetro se separan; la electricidad es vítrea ó positiva. Si quito despues el tafetan resinoso que cubre el disco metálico, las hojas de oro manifiestan nueva diverjencia; pero la electricidad es resinosa ó negativa.

§ V.

En que se prueba que los fenómenos espuestos en los tres artículos precedentes se deben esclusivamente al contacto de los cuerpos empleados para producirlos.

1617. No veo mas que tres causas cuya influencia pueda sospecharse en la produccion de los fenómenos que nos ocupan; es á saber, el contacto, la frotacion y la presion.

En cuanto á la frotacion he dicho ya que en los esperimentos que he descrito no se trata mas que de una simple superposicion hecha con todas las precauciones imaginables. Ademas los siguientes esperimentos demuestran rigurosamente que la frotacion en nada ha contribuido al desarrollo de la electricidad.

Primer esperimento. Tomo un disco de vidrio muy pulido y aislado, lo pongo encima de tafetan resinoso favoreciendo el contacto por la presion; la electricidad que manifiesta al aproximarlo al electrómetro es resinosa, y la del tafetan es vitrea. Hago resbalar este mismo disco vuelto á su estado natural contra la superficie del tafetan resinoso. Se manifiesta electricidad, pero el tafetan resinoso adquiere la electricidad resinosa ó negativa, y el disco de vidrio la electricidad vitrea, resultado del todo contrario al que se origina del contacto sin frotacion.

Segundo esperimento. Fijo por medio de tornillo en el boton del electrómetro de *Bennet* un disco metálico al que envuelvo con tafetan cubierto de resina elástica. Si aplico mi mano sobre el tafetan facilitando el contacto por la presion, desde el momento que la retiro del contacto la electricidad vitrea se manifiesta de un modo nada equivoco como se ha visto ya. Pero si en lugar de aplicar mi mano sobre el tafetan la hago resbalar por su superficie, desde el momento que la retiro, la electricidad resinosa del tafetan se hace sensible en el electrómetro.

Se obtiene el mismo resultado si en lugar de la mano se sustituye un disco de metal, un disco de madera ó de corcho; en

una palabra una materia cualquiera cuya superficie sea pulida.

Esta oposicion de efectos que presenta un disco de vidrio, de mármol, de metal, etc., segun que se pone simplemente en contacto con el tafetan resinoso, ó que se frota por encima su superficie, parece anunciar una especie de estravagancia de la naturaleza, la que nos será fácil justificar cuando espondremos la teoría de la electricidad.

Tercer esperimento. Para apreciar el influjo de la presion en los fenómenos de que se trata fijé en el cilindro de vidrio puesto en el centro del disco de cobre que sirvió para el primer esperimento descrito en el párrafo segundo, la estremidad de un cordon de seda que cubria una polea fija. En el otro estremo estaban suspendidos pesos que se equilibraban con el disco de metal, al paso que el disco de madera cubierto de tafetan resinoso estaba sostenido debajo del disco de metal por un taburete con pies de cristal. Estando todo asi dispuesto añadí un pequeño peso al disco de cobre; faltó el equilibrio, y esta falta determinó su contacto con el tafetan resinoso; pero en este caso la presion fue considerablemente disminuida. El aparato quedó en este estado por espacio de dos horas, y despues de este tiempo el disco metálico presentado al boton del electrómetro de *Bennet* produjo en las hojas de oro una diverjencia sensible, pero no obstante incomparablemente menor que la que se produce por el contacto instantáneo favorecido por la presion.

No es pues equivoco que la presion contribuya al desarrollo de la electricidad que nos ocupa, y esto nada tiene de estraño, pues que á lo menos hasta á un cierto límite, el número de puntos de contacto debe aumentar proporcionalmente á la presion.

Comparando los diferentes fenómenos que se han descrito con los que se nos han transmitido por *M. Volta* relativamente á la electricidad escitada por el simple contacto, se ve que los metales esperimentan una accion electromotriz de parte del zinc el mas combustible de todos, el que á su turno está sujeto á la de las sustancias mas combustibles que él, tales como las sustancias re-

sinosas, lo que parece indicar que la naturaleza ha dado á los cuerpos combustibles mayor atraccion para el fluido eléctrico que á los demas cuerpos naturales. De otra parte sabemos que las sustancias combustibles refrinjen, y de consiguiente atraen mas ó menos vivamente al fluido luminoso, segun que gozan de mayor ó menor combustibilidad. Tenemos pues aqui nuevas analogías entre el fluido luminoso y el fluido eléctrico. Me parecen propias para confirmar la opinion de los físicos que piensan que el fluido eléctrico, el calórico, el fluido magnético etc. no son otra cosa que diferentes modificaciones del fluido luminoso, sobre todo bajo la relacion de su velocidad. En cuanto á lo demas es menester no perder jamas de vista, que á escepcion del fluido luminoso, todos los demas fluidos no tienen en la mente del físico mas que una existencia hipotética, y que de consiguiente en la teoría no la tienen mas que como una causa, puede ser imaginaria, pero entonces equivalente á la que la naturaleza pone en movimiento para producir los fenómenos.

CONCLUSION.

1618. Síguese de los hechos establecidos en los cuatro artículos precedentes,

1.° Que las resinas ejercen en el contacto una accion electromotriz mas ó menos poderosa sobre todos los cuerpos de la naturaleza.

2.° Que la electricidad que este contacto desarrolla, es siempre la opuesta á la que da orígen la frotacion.

3.° Que para establecer la existencia de la electricidad metálica es pernicioso el emplear condensadores resinosos; porque la accion poderosa de la resina sobre el metal podria muy bien combinarse con la que ejercen entre sí dos metales heterogéneos y contribuir asi á la produccion del fenómeno.

CAPÍTULO IV.

DE LA ELECTRICIDAD QUE EL CALOR PRODUCE.

1619. La primera sustancia en la que se reconoció la propiedad de electrizarse por el calor es la turmalina: esta es una piedra cristalina en prismas regularmente de nueve caras, terminados por vértices de tres, seis y nueve caras, ó aun mas. Los holandeses la llaman *aschentreker* (atrae-cenizas), porque atrae las cenizas cuando se aproxima al fuego. *Linneo* la llama *lapis eléctricus*.

Las propiedades de que goza esta piedra relativamente á la electricidad son las que siguen:

1.° Mientras esta piedra se halla en la temperatura ordinaria sin esperimentar frotacion alguna no da señal alguna de electricidad; pero resulta eléctrica si se frota ó si sin frotarla se espone durante algunos instantes á la accion del calor.

2.° La electricidad no se manifiesta en toda la estension de la superficie, sino solamente en dos puntos situados en dos partes opuestas del mineral. Estos puntos se llaman *polos eléctricos.*

3.° Cuando la turmalina ha sido calentada hasta á un cierto grado, uno de sus estremos goza de la electricidad vítrea ó positiva, al paso que el otro está animado de la electricidad resinosa ó negativa. Atrae por el primero, y repele por el segundo un hilo de seda de tres ó cuatro líneas de longitud, fijado en el estremo de una barra de lacre que se haya frotado.

4.° Dos turmalinas presentadas la una á la otra se atraen por los polos animados de electricidades contrarias, y se repelen por los polos que manifiestan la misma electricidad. (*Véase* para la esplicacion de este fenómeno el capítulo que trata de la teoría de la electricidad).

5.° Si se rompe una turmalina en el momento en que ma-

nifiesta su electricidad, cada pedazo por pequeño que sea tiene sus dos mitades en dos estados opuestos como la turmalina entera. Los imanes presentan un fenómeno semejante, el que nos fraguará la esplicacion de este otro.

1620. La mayor parte de las propiedades atribuidas al principio esclusivamente á la turmalina se han reconocido despues en un grande número de sustancias naturales entre las que se cuentan los rubis del Brasil, el borate de magnesia, el óxide de zinc cristalizado, etc. etc. Todas estas dan por medio del calor señales de electricidad; cada una de ellas tiene dos polos, de los que el uno es el sitio de la electricidad vítrea y el otro el de la electricidad resinosa: en una palabra manifiestan con alguna diferencia los mismos fenómenos que la turmalina.

LIBRO DUODÉCIMO.

PARTE SEGUNDA.

TEORÍA DE LA ELECTRICIDAD.

1621. Entre el grande número de hipótesis hasta aqui imaginadas para esplicar los fenómenos eléctricos, las de *Franklin*, de *OEpinus* y de *Coulomb* son las solas, que en el estado actual de conocimientos merecen fijar la atencion del físico. No hablaré circunstanciadamente de las dos primeras; pero diré de ellas lo preciso para que el lector se ponga en estado de conocerlas, y apreciar los motivos que determinan la preferencia que he dado á la hipótesis de *Coulomb*.

CAPÍTULO PRIMERO.

CUADRO SUCINTO DE LA HIPÓTESIS DE FRANKLIN.

1622. 1.° *Franklin* hace depender todos los fenómenos eléctricos de la accion de un fluido que ha recibido el nombre de *fluido eléctrico.*

2.° *Franklin* considera al fluido eléctrico como un cuerpo simple.

3.° Todos los cuerpos de la naturaleza contienen una cierta cantidad de fluido eléctrico, la que depende de su atraccion para este fluido y de su capacidad para contenerle. Ellos se encuentran en este caso en su estado natural, y no dan señal alguna de electricidad.

4.° Los cuerpos adquieren la electricidad positiva adquirien-

do una sobreabundancia de fluido eléctrico; se hallan electrizados negativamente, si pierden una porcion de su fluido natural.

5.° Las moléculas del fluido eléctrico se repelen mútuamente á distancias bastante considerables, y son atraidas por toda otra especie de materia.

6.° Los cuerpos electrizados estan rodeados de una atmósfera eléctrica que tiene mayor ó menor estension.

7.° El vidrio es impermeable al fluido eléctrico, el que jamas penetra su espesor. No hay medio alguno de añadirle electricidad á la que naturalmente tiene, y si se quiere aumentar el fluido eléctrico de una de sus superficies, es menester que la otra pierda la misma cantidad de su fluido natural.

De estos principios casi todos hipotéticos, los físicos adictos á la doctrina de *Franklin* han deducido el siguiente modo de esplicar los fenómenos eléctricos.

Cuerpos ligeros presentados á un conductor eléctrico se aproximan hasta al contacto, porque ceden á la atraccion del fluido que rodea al conductor.

Dos cuerpos dotados de la electricidad positiva se apartan el uno del otro porque sus atmósferas se repelen.

Un cuerpo ligero electrizado positivamente se precipita contra un cuerpo no electrizado, porque este último atrae su atmósfera la que le arrastra con ella.

Dos cuerpos electrizados negativamente se separan, porque el aire se condensa en su superficie, y el fluido eléctrico no pudiendo introducirse en ellos forma al rededor de cada uno de ellos una atmósfera que les separa por su fuerza repulsiva.

Ademas que esta condensacion del aire en la superficie de los cuerpos electrizados negativamente es una suposicion puramente gratuita, es insuficiente para esplicar de un modo plausible el fenómeno de repulsion que nos ocupa.

Los fenómenos de la *botella de Leyden* se acomodan mas fácilmente á la hipótesis de *Franklin*.

Cuando se tiene de una mano la superficie esterior de una botella, y se presenta su conductor interior al conductor electriza-

do, el fluido eléctrico se acumula en su superficie interior; y aunque no penetra el vidrio obra no obstante al traves de él contra el fluido natural de la superficie esterior sobre el que ejerce una accion repulsiva que determina la electricidad en menos de esta superficie, con tal que pueda ceder su fluido á algun cuerpo conductor: la superficie interna de la botella se halla pues electrizada positivamente, y la superficie esterior negativamente; y como el fluido eléctrico asi como los demas fluidos tiende siempre al equilibrio, el fluido que se halla en esceso en la superficie interior obra para ir á reemplazar el que falta en la superficie esterior. Esta marcha es impedida por el aire, el que cuando está muy seco le opone una resistencia invencible; pero si se le proporciona un camino fácil para atravesar una sustancia conductriz, efectúa su marcha, y el equilibrio se restablece entre las dos superficies. En esto se ve el porque cuando teniendo por una mano la guarnicion esterior de una botella cargada, si se pone el dedo en el conductor de la armadura interior se siente una fuerte y repentina conmocion. La chispa que se manifiesta reconoce por causa la estrema celeridad del movimiento de la materia eléctrica en su paso de la superficie interior de la botella á la esterior. Cualquiera por poco ejercitado que esté en esta materia aplicará sin dificultad los mismos principios á todos los fenómenos del mismo órden.

1623. La hipótesis de *Franklin* es simple y fácil de entender, y no se le puede disputar el mérito de una dichosa fecundidad. Es sensible que haya algunos fenómenos que le resistan desde la época de su orígen y siempre con la misma audacia. Tal es la repulsion mútua de dos cuerpos ligeros dotados de la electricidad negativa. Tal es el movimiento de una aguja que gira en el mismo sentido sea que se coloque el quicio que la sostiene encima un conductor positivo, sea que descanse encima un conductor negativo.

1624. No obstante estos defectos la hipótesis de *Franklin* cuenta en el dia un grande número de partidarios. *MM. Volta*, *Brugnatelli*, *Davi*, *Van-Mons*, ect. continuan adoptando con

ligeras modificaciones inventadas para hacer desaparecer los inconvenientes que presenta. En una obra que tiene por título *principios de electricidad M. Van-Mons* procura corroborarla y estenderla. Hace mas, combate la hipótesis de dos fluidos que espondré luego por hechos y raciocinios que merecen fijar la atencion de los físicos.

1625. *OEpinus* se habia tambien ocupado en perfeccionar la hipótesis de *Franklin*, y para salir bien habia empleado los socorros de la analisis. Descompuso las fuerzas que se combinan en la produccion de los fenómenos eléctricos, y esta descomposicion adelanta la teoría hácia su verdadero término.

CAPÍTULO II.

ESTRACTO DE LA HIPÓTESIS DE OEPINUS.

Primer principio.

1626. Las moléculas del fluido eléctrico se repelen mútuamente, aun á distancias sensibles.

Segundo principio.

1627. Las moléculas del fluido eléctrico pueden ser atraidas por todos los cuerpos conocidos, y reciprocamente.

Síguese de aqui, 1.° que si dos cuerpos A y B por ejemplo, supuestos en su estado natural se presentan el uno al otro,

1.° La materia del cuerpo A atrae el fluido eléctrico del cuerpo B.

2.° El fluido del cuerpo A repele al fluido del cuerpo B.

3.° El fluido del cuerpo A atrae la materia propia del cuerpo B.

Tercer principio.

1628. La atraccion ejercida por la materia propia del cuerpo A sobre el fluido del cuerpo B, es igual á la repulsion mútua

de los dos fluidos, porque, pues que los dos cuerpos se han supuesto en el estado natural sus fuerzas opuestas estan en equilibrio, y de consiguiente son iguales.

Cuarto principio.

1629. La atraccion ejercida por la materia propia del cuerpo A sobre el fluido del cuerpo B es igual á la atraccion que el fluido del cuerpo A ejerce sobre la materia propia del cuerpo B. Indiquemos la masa del cuerpo A por M, la cantidad del fluido eléctrico de que está penetrado por Q, la masa del cuerpo B por m, y su cantidad de fluido eléctrico por q. Las atracciones son como las fuerzas, y estas son como los productos de las masas por las velocidades: estos productos son iguales, porque la velocidad del fluido del cuerpo B, producida por la atraccion de la materia propia del cuerpo A, es como la masa de este último: de que se sigue que la cantidad de movimiento del fluido del cuerpo B es espresada por su masa multiplicada por la del cuerpo A, es decir por Mq. La cantidad de movimiento del cuerpo B producida por la atraccion del fluido del cuerpo A, es como el producto de su masa por su velocidad, la que es proporcional á la masa del fluido del cuerpo A; de que se sigue que la cantidad de movimiento del cuerpo B es igual á su masa multiplicada por la del fluido del cuerpo A, es decir á mQ; pero $mQ = Mq$; porque la cantidad natural del fluido eléctrico es proporcional á la masa: luego

$$M : m :: Q : q : \text{luego } Mq = mQ.$$

1630. Aqui *OEpinus* supone que la cantidad natural de fluido eléctrico es proporcional á la masa. Esta suposicion no es exacta, 1.º porque es probable que todas las partes de materia iguales no atraen igualmente al fluido eléctrico. Sabemos que las moléculas de los cuerpos combustibles atraen al fluido eléctrico con mayor fuerza que aquella con que este es atraido por las moléculas iguales de los cuerpos incombustibles, y muchos esperi-

mentos tienden ya á manifestar que los cuerpos resinosos tienen mayor atraccion con el fluido eléctrico que los demas cuerpos de la naturaleza; 2.° para que la cantidad de fluido eléctrico sea proporcional á la masa, no basta que las moléculas iguales de diferentes cuerpos atraigan igualmente al fluido eléctrico; seria tambien preciso que dada la misma masa todos los cuerpos tuviesen la misma capacidad para el fluido eléctrico, lo que es contrario á la analogía.

1631. Síguese de los principios establecidos, que las tres fuerzas de que se trata son iguales, y como la primera es destruida por la segunda con motivo de su oposicion, es menester hallar necesariamente en alguna parte una cuarta fuerza que sea igual y opuesta á la tercera. *OEpinus* no puede tomarla sino en la mútua accion de los cuerpos y se ve asi obligado á admitir que con relacion á los fenómenos eléctricos las moléculas de todos los cuerpos se repelen. Esta consecuencia le pareció al principio contraria á las leyes de la gravitacion; pero este aparente absurdo se desvanece, atendiendo á que la repulsion mútua de las moléculas de los cuerpos no tiene lugar en su hipótesis, sino cuando los cuerpos estan electrizados, es decir, cuando estan penetrados por el fluido eléctrico, el que, como el calórico, puede muy bien comunicar á las moléculas de los cuerpos una fuerza repulsiva, sin oponerse á las leyes de la gravitacion.

Si tomamos la espresion analítica de estas cuatro fuerzas conservando las denominaciones adoptadas en el cuarto principio tendremos,

1.° La atraccion ejercida por la materia propia del cuerpo A sobre el fluido del cuerpo B $=$ Mq.

2.° La repulsion de los dos fluidos $=$ Qq.

3.° La atraccion ejercida por el fluido del cuerpo A sobre la materia propia del cuerpo B $=$ Qm.

4.° La repulsion de las moléculas de la materia propia del cuerpo A y del cuerpo B $=$ Mm.

Cuando dos cuerpos supuestos en el estado natural se ponen en presencia el uno del otro, todas estas fuerzas se hallan en

equilibrio, y de consiguiente la suma de las atracciones es igual á la de las repulsiones,

$$\text{ó } Mq + Qm = Qq + Mm.$$

Síguese de aqui, 1.º que si el cuerpo A es electrizado positivamente mientras que el cuerpo B conserva su fluido natural, no se alejarán ni se aproximarán el uno del otro; porque en esta suposicion Q aumenta; luego, pues que en el estado de los cuerpos

$$Qm = Qq, \ Qm \text{ y } Qq$$

aumentan igualmente, y de consiguiente $Mq+Qm=Qq+Mm$, es decir que la suma de las atracciones queda igual á la suma de las repulsiones.

2.º Si los dos cuerpos A y B se hallan electrizados positivamente deben repelerse; porque cuando el cuerpo A es electrizado positivamente mientras el cuerpo B conserva su fluido natural tenemos,

$$Mq + Qm = Qq + Mm, \text{ y } Qq > Mq.$$

Pero en la actual hipótesis en que B es tambien electrizado positivamente, q aumenta; luego Qq aumenta en una razon mayor que Mq; luego

$$Mq + Qm < Qq + Mq;$$

luego la suma de las repulsiones es mayor que la suma de las atracciones, luego etc.

3.º Si el cuerpo A es electrizado positivamente y el cuerpo B negativamente deben atraerse, porque cuando el cuerpo A es electrizado positivamente mientras el cuerpo B queda en su estado natural, tenemos

$$Mq + mQ = Qq + Mm, \text{ y } Qq > Mq;$$

pero, pues que el cuerpo B se ha supuesto electrizado negativamente, q disminuye: luego Qq disminuye en mayor razon que Mq: luego

$$Mq + Qm > Qq + Mm:$$

luego la suma de las atracciones es mayor que la suma de las repulsiones: luego etc.

4.º Si el cuerpo A es electrizado negativamente, conservando el cuerpo B su estado natural no se aproxima ni se aleja del primero; porque en esta suposicion Q disminuye: luego, pues que en el estado natural de los dos cuerpos $Qm = Qq$, Qm y Qq decrecen aqui igualmente: luego

$$Mq + Qm = Qq + Mm:$$

luego la suma de las atracciones es igual á la suma de las repulsiones: luego etc.

5.º Dos cuerpos A y B electrizados negativamente, deben repelerse; porque el cuerpo A siendo electrizado negativamente, mientras el cuerpo B queda en su estado natural, se tiene

$$Mq + Qm = Qq + Mm, \text{ y } Qq < Mq;$$

pero en la presente suposicion q disminuye, Mq decrece en mayor razon que Qq: luego

$$Mq + Qm < Qq + Mm:$$

luego la suma de las repulsiones es mayor que la de las atracciones: luego etc.

1632. No me detendré mas tiempo en la hipótesis de *OEpinus*; se ha dicho bastante para hacer ver que tiene sobre la de *Franklin* la ventaja de analizar las fuerzas que se combinan en la produccion de los fenómenos eléctricos. Desgraciadamente el modo con que *OEpinus* ha mirado estas fuerzas le ha conducido á consecuencias que no nos parecen todas igualmente admisibles. La hipótesis de dos fluidos imaginada por *Simmer* y perfeccionada por *Coulomb* no presenta los inconvenientes anejos á las hipótesis precedentes. Tiene ademas la ventaja de esplicar con igual facilidad todos los fenómenos eléctricos.

CAPÍTULO III.

HIPÓTESIS DE LOS DOS FLUIDOS.

1633. Considero con *Coulomb* al fluido eléctrico como compuesto de dos fluidos particulares que estan neutralizados el uno por el otro en el estado comun de los cuerpos, y que se separan cuando los cuerpos son electrizados. No miramos como á demostrada la existencia del fluido eléctrico, y mucho menos la de dos fluidos que entren en su composicion; pero poco importa que la existencia de estos dos fluidos sea real ó solamente hipotética, con tal que conduzca á un modo simple y plausible de representar con fidelidad todos los resultados que da la esperiencia.

1634. Cualesquiera denominaciones pueden servir igualmente para designar estos dos fluidos cuya naturaleza no conocemos, y que de otra parte ningun cuerpo de la naturaleza los da de un modo especial. Llamaré al uno fluido V, y al otro fluido R. El primero corresponde á lo que *Dufay* llama *electricidad vitrea*, y *Franklin electricidad positiva*; el segundo á lo que *Dufay* designa con el nombre de *electricidad resinosa*, y *Franklin* con el de *electricidad negativa*.

1635. Un cuerpo puede ser electrizado de dos modos, 1.° por la simple descomposicion del fluido eléctrico que le es propio; 2.° en virtud de una cantidad sobreabundante de fluido V ó R, que reciba por comunicacion: de que resulta que un cuerpo puede electrizarse, es decir, salir de su *estado natural*, y conservar al mismo tiempo su *cantidad natural de fluido eléctrico*.

Primer principio.

1636. Las moléculas de cada uno de los fluidos que entran en la composicion del fluido eléctrico se repelen entre sí.

Segundo principio.

1637. Las moléculas del fluido V atraen á las del fluido R, y y recíprocamente.

1638. Síguese de estos principios, 1.° que dos cuerpos electrizados, cada uno por una cantidad aditiva de fluido V ó R deben separarse el uno del otro, en virtud de las fuerzas repulsivas que las moléculas de los fluidos de la misma especie ejercen las unas sobre las otras.

2.° Que dos cuerpos agitados el uno por una cantidad aditiva de fluido V y el otro por una cantidad de fluido R, deben atraerse en virtud de las fuerzas atractivas que las moléculas de cada uno de los fluidos componentes ejercen sobre las del otro fluido.

1639. Para esplicar claramente los demas casos de atraccion ó de repulsion, en los que sucede una descomposicion del fluido natural del uno de los cuerpos ó de los dos, conviene considerar desde luego el equilibrio de dos cuerpos que se hallan en su estado natural.

Llamemos A al uno de los cuerpos, y B al otro. Es evidente que A ejerce sobre B, y reciprocamente cuatro acciones diferentes; á saber, la repulsion de su fluido V sobre el fluido V de B, la atraccion de su fluido V sobre el fluido R de B, la repulsion de su fluido R sobre el fluido R de B, en fin la atraccion de su fluido R sobre el fluido V de B: pero en el caso de equilibrio, es decir, en el estado natural de los cuerpos, estas cuatro acciones son necesariamente iguales, y de consiguiente el fluido V de B es tan atraido por el fluido R de A, como repelido por su fluido V, sin lo que se pondria en movimiento, lo que es contra la suposicion del equilibrio. Por la misma razon el fluido R de B es tan atraido por el fluido V de A como repelido por su fluido R. Tenemos pues por una y otra parte cada una de las fuerzas atractivas igual á una de las fuerzas repulsivas; quedará pues probado que las cuatro acciones de que se trata son iguales si se prueba la igualdad de dos atracciones y de dos repulsiones; pero esta igualdad existe, porque las cantidades de fluido de cada especie son proporcionales en los diferentes cuerpos á las cantidades del de la otra especie, es decir, que se tiene fluido V de A : fluido V de B : : fluido R de A : fluido R de B : luego fluido V

de A × fluido R de B = fluido V de B × fluído R de A; pero estos productos representan las fuerzas, porque en cada uno de estos cuerpos la cantidad de fluido atraido puede ser tomada por la masa, y su velocidad es proporcional á la masa atraente, es decir á la cantidad de fluido atraente, luego las fuerzas ó las atracciones son representadas por dos productos iguales. Del mismo modo se probaria la igualdad de las repulsiones: de que se sigue que dos cuerpos en su estado natural no ejercen el uno sobre el otro accion alguna efectiva.

1640. Veamos ahora con que facilidad los fenómenos mas complicados de las atracciones y repulsiones eléctricas, se acomodan por sí mismos á la hipótesis de dos fluidos.

Supóngase desde luego un buen conductor A de figura esférica electrizado por una cantidad aditiva de fluido V, el que le ha sido transmitido, y otro cuerpo esférico y buen conductor B situado á una pequeña distancia del primero. El fluido V que rodea A ejerce una fuerza repulsiva sobre el fluido de la misma especie que constituye parte del fluido natural de B, y una fuerza atractiva sobre el fluido R que es el otro elemento del mismo fluido natural. Estos dos fluidos se separan de modo que el fluido R rodea la parte de superficie de B la mas inmediata de A, y su fluido V la parte de la misma superficie la mas lejana de A: por lo que la atraccion ejercida por el fluido V del conductor sobre el fluido R de B es mayor que la repulsion ejercida por el fluido del conductor sobre el fluido V de B, por ser las fuerzas eléctricas en razon inversa del cuadrado de la distancia: luego en virtud de la diferencia de estas fuerzas, B debe aproximarse á A hasta al contacto. En este caso la cantidad aditiva de fluido V de A uniéndose con el fluido R que rodea la superficie de B, resulta de esta union una cierta cantidad de fluido natural que vuelve á entrar en B, y la porcion de fluido V que queda fuera de la combinacion, distribuyéndose en cierta razon entre A y B, quedan los dos cuerpos electrizados cada uno por una cantidad aditiva de fluido V, y de consiguiente se repelen.

1641. Síguese de aqui, como de los principios dè *OEpinus*

que un cuerpo electrizado, no atrae hácia sí á un cuerpo no electrizado que se le presenta sino despues de haberle dispuesto á ser atraido haciéndole al principio salir de su estado natural.

1642. Es fácil ahora dar razon de los efectos del campanario eléctrico. Cada una de las campanas laterales siendo electrizada atrae desde luego la pequeña esfera de metal colocada á su lado, le comunica una electricidad de la misma especie que la suya, la repele despues hácia la campana del medio, la que comunicando con el receptáculo comun es despojada de esta electricidad y restituida á su estado natural. Los mismos efectos van sucediendo mientras el aparato está electrizado.

1643. Creo inútil multiplicar los ejemplos de atracciones y repulsiones eléctricas. Los mismos principios se aplican fácilmente á todos los fenómenos de esta especie, aun suponiendo que el cuerpo haya sido cargado de una cantidad aditiva de fluido R, ó que de los dos cuerpos el uno sea buen conductor, y el otro mal conductor; ó en fin que los dos cuerpos sean malos conductores, y que el fluido natural de cada uno haya sido descompuesto en su interior.

1644. Al describir el cuadro de los fenómenos eléctricos se vió que las puntas tenian el privilegio esclusivo de atraer al fluido acumulado en la superficie de un buen conductor, de modo que hace inútiles todos los esfuerzos para continuar á cargarle.

Para esplicar este fenómeno, concibamos dos agujas muy finas A y B no aislados, y su punta vuelta hácia un conductor cargado de fluido V. La accion de este conductor tiende á atraer hácia la estremidad de cada aguja al fluido R, que se ha separado del fluido natural de cada aguja, y á repeler en sentido contrario al fluido V; pero las dos agujas obran al mismo tiempo la una contra la otra, de modo que el fluido de la parte anterior de la aguja A atrae al de la parte posterior de la aguja B, y del mismo modo la parte anterior de esta ejerce una fuerza atractiva sobre la parte posterior de lo aguja A. Ademas la porcion del fluido R situada en la punta de cada aguja obra para repeler hácia atras las moléculas del fluido semejante que se halla en la otra

aguja, debajo de la punta, y las acciones recíprocas de las agujas son tanto mas sensibles cuanto mas aproximadas estan; 1.° porque se ejercen á una menor distancia; 2.° porque siguen direcciones menas oblicuas á las superficies segun cuya longitud resbalan las moléculas: de que se sigue que estas diferentes acciones contrarrestan en parte el efecto del conductor cargado de fluido V, para atraer hácia la estremidad de cada aguja al fluido R.

Si en lugar de dos agujas suponemos un grande número de ellas, y que esten aproximadas de modo que no formen mas que un solo cuerpo, todas las superficies esteriores de las agujas situadas al rededor del cuerpo obrarán del mismo modo, las unas sobre las otras, para contrabalanzar la accion eléctrica del conductor con relacion á cada una de ellas; y á sus esfuerzos se unirán los de todos los puntos de la superficie anterior que mira directamente al conductor: de que se sigue que el fluido R será mucho menos condensado hácia la estremidad del hacecillo de agujas, de lo que lo habria sido hácia la de una sola aguja aislada; y de consiguiente, pues que cada aguja obra contra el conductor cuya electricidad atrae, la reaccion será mucho mas eficaz por parte de una sola aguja, en cuya estremidad el fluido R está muy condensado, y cuya accion entera se dirige hácia un mismo punto del conductor, que por parte de un manojo de agujas cuyas acciones se perturban no siendo bastante aproximadas.

Asi es que una aguja aislada es capaz de determinar una grande y súbita emanacion de fluido eléctrico, el que transmite rápidamente á los cuerpos inmediatos. Un cuerpo cualquiera terminado en punta ejerce una accion semejante á la de la aguja aislada de que se acaba de hablar, al paso que un cuerpo obtuso representa con bastante exactitud un manojo de agujas que ejerce una accion mucho menor para despojar al conductor de su electricidad.

Entre tanto, la accion del cuerpo obtuso, aunque mas débil que la de la punta atrae en la parte anterior del conductor una nueva cantidad de fluido que está detenida por la resistencia del aire; esta cantidad aumenta y al mismo tiempo las dos partes por

las que los cuerpos se miran se electrizan de mas en mas á proporcion que la distancia disminuye; y hay un término en que el aire cediendo á la fuerza atractiva que anima los dos fluidos, estos se escapan para unirse el uno al otro con una especie de esplosion acompañada de una chispa que produce una inflamacion súbita, si ejerce su actividad sobre una sustancia combustible tal como el alcohol, el éter, etc.

1645. Se ha visto, hablando de la electricidad por contacto, que un disco de vidrio pulido, de metal, de mármol etc., aislado y puesto encima tafetan resinoso adquiere la electricidad resinosa ó negativa, al paso que recibe la electricidad vítrea ó positiva cuando se hace resbalar por encima la superficie del tafetan resinoso.

1646. Para justificar esta aparente estravagancia de la naturaleza, volvamos por un instante la vista al estado en que se hallaba antes de la produccion del fenómeno; y supongamos que haya dado á las sustancias resinosas mayor atraccion para el fluido V que á las demas sustancias naturales. En esta hipótesis, que no está falta de verosimilitud, se concibe como una sustancia resinosa puesta en contacto con el vidrio, mármol, etc., debe en virtud de su atraccion superior, descomponer el fluido natural, atraer el fluido V, y repeler el fluido R: de que resulta que el contacto debe bastar para constituir la resina en el estado positivo ó vítreo, y al vidrio en el estado negativo ó resinoso.

Ahora si en lugar de poner simplemente el disco de vidrio ó de metal encima del tafetan resinoso, se hace resbalar sobre su superficie, quedando la misma la razon de atracciones de la resina y del vidrio para el fluido V, queda sin duda que la frotacion cambia la relacion de las capacidades que se componen de la figura de las moléculas integrantes, de su magnitud, y de la distancia que las separa. Si sucede pues que la frotacion aumenta la capacidad del vidrio ó del metal para contener al fluido V, de modo que sea, despues de la frotacion á la de la resina, en una mayor razon que la atraccion de la resina á la del vidrio ó del metal, es claro que aunque la resina tenga para el fluido V ma-

yor atraccion que el vidrio, debe no obstante ceder al vidrio una porcion de su fluido V, y de consiguiente, que el vidrio debe adquirir para la frotacion la electricidad resinosa ó negativa.

1647. Pasemos ahora á la esplicacion del importante fenómeno de la botella de Leyden.

Cuando teniendo por una mano la superficie esterior de una botella de Leyden, se presenta su conductor al conductor electrizado de una máquina, que supongo cargado de fluido V, este fluido se esparce por la superficie interior de la botella, y su accion descompone el fluido natural de la armadura esterior, el fluido V, que es parte de este es repelido por el fluido interior homogéneo, se escapa al traves de la mano, y se pierde en los cuerpos inmediatos, mientras que el fluido R que se ha separado de la combinacion está encadenado en la superficie esterior por la atraccion del fluido interior, y obra á su turno por una fuerza semejante para retener á este fluido en la superficie interior.

Conviene observar 1.° que cada molécula del fluido V que se escapa al traves de la mano por la repulsion del fluido acumulado en la superficie interior, es atraido al mismo tiempo por el fluido R de la superficie esterior, y pues que la fuerza repulsiva del fluido interior, aunque mas lejano de la molécula que cede á su accion, es mayor que la fuerza atractiva del fluido esterior, se debe deducir que la cantidad de fluido V aplicada en la superficie interior, es siempre mayor que la del fluido R retenido en la superficie esterior.

2.° Las moléculas de fluido R de la superficie esterior ejercen las unas sobre las otras una fuerza repulsiva que tiende á alejarlas, y esta fuerza es contrarrestada por la atraccion del fluido V de la superficie interior. Las moléculas de este último fluido tienden tambien á escaparse en virtud de su fuerza repulsiva, y no puede ceder enteramente á la atraccion del fluido R esterior cuya cantidad es menor; hay pues una porcion escedente de fluido interior que no puede ser retenida mas que por la resistencia del aire ambiente.

Ahora si se continua á cargar el conductor, la nueva canti-

dad de fluido V de que se cargará el interior de la botella determinará la salida de una nueva porcion de fluido V de la superficie esterior; pero al mismo tiempo la atraccion del fluido R, puesto en estado de libertad, aumentando con relacion á cada molécula que tiende á escaparse, exige que la porcion escedente del fluido interior que está empleado á compensar la distancia aumente por su parte, y habrá un punto en que este esceso no tendrá mas que la fuerza necesaria para contrarrestar la resistencia del aire. Mas allá de este término si se continua en cargar el conductor, todas las nuevas cantidades de fluido que da, marchan á medida que llegan, y la botella ha llegado á su término de saturacion.

Si teniendo siempre por una mano la armadura esterior de la botella asi cargada, se pone la otra en el conductor de la armadura interior, una porcion de fluido V acumulado en la superficie interior, ya no es mas detenido por la resistencia del aire, obra sobre el fluido natural de mi mano, lo descompone, repele el fluido V que resulta de la descomposicion, y atrae el fluido R con el que se combina para formar fluido natural. Al mismo tiempo, el fluido R de la superficie esterior que no está ya detenido por la cantidad escedente de fluido que ha sido quitado á la superficie interior, obra contra el fluido natural de la otra mano, lo descompone, repele al fluido R, y atrae al fluido V al que neutraliza. Los dos fluidos repelidos el uno hácia al otro se combinan tambien por ser heterogéneos, y el equilibrio de las fuerzas se restablece asi en el interior y en lo esterior de la botella. Todos estos efectos son producidos con una rapidez y energía, que producen conmociones violentas y súbitas, las que se hacen sentir bien en las personas que se sujeten á estos esperimentos.

1648. Es fácil ver que una botella de Leyden aislada no puede cargarse, porque en este caso el fluido V de la superficie esterior no pudiendo escaparse, queda combinado en esta superficie con el fluido R.

1649. No se descarga completamente una botella de Leyden

poniendo en comunicacion sus dos superficies por medio de un escitador. Son menester muchos contactos ó bien uno solo continuado por algunos instantes para volverla á su estado natural; y entonces dicen algunos físicos, se presenta un fenómeno raro, el que consiste en que la especie de electricidad de cada superficie muda en cada contacto: de modo que aquella que tenia la electricidad vítrea ó positiva toma despues del contacto la electricidad resinosa ó negativa y recíprocamente.

Cuando por medio del escitador se hacen comunicar las dos superficies de una botella de Leyden no se descarga completamente; pero la especie de electricidad que anima cada superficie queda la misma en cada contacto. He hecho muchas veces este esperimento, el resultado ha sido siempre el mismo; y de consiguiente el fenómeno anunciado por algunos físicos es un fenómeno imaginario.

1650. Puédese descargar una botella de Leyden aislada llevando el dedo sucesivamente de una á otra superficie; por este método la descarga disminuye en cada contacto y acaba por ser nula ó á lo menos inapreciable.

Para esplicar este hecho, es menester volver á la esplicacion de la carga de la botella. Supongamos que el conductor de una botella de Leyden se haya presentado al conductor de una máquina eléctrica ordinaria; su interior se hallará con un esceso de fluido V el que descompondrá al fluido natural de la armadura esterior, repelerá hácia el suelo su fluido V y fijará en la superficie al fluido R; pero el fluido V de la superficie interior, obrando á distancia contra el fluido R de la superficie esterior, no puede destruir la fuerza repulsiva de una masa de fluido R tan grande como aquella cuya fuerza repulsiva destruiria en el contacto; hay pues en la superficie esterior menos fluido R del que seria preciso para neutralizar al fluido V de la superficie interior, y por consiguiente no hay bastante para destruir á distancia la fuerza repulsiva de las moléculas del fluido V de la superficie interior; asi parte del fluido V no es retenida sino por la resistencia que oponen á su paso el aire y los cuerpos ambientes. Síguese de esto que estando la botella aislada, si se toca su con-

ductor, esta cantidad superabundante de fluido V pasará al depósito comun, y no quedará mas que el que en ella puede retener á distancia el fluido R. Pero en este caso es claro que el fluido V de la superficie interior no puede retener todo el fluido R de la superficie esterior; por lo que si se toca con el dedo la armadura de la botella se le quitará fluido R; continuando asi se quitará sucesivamente todo el fluido V de la superficie interior, todo el fluido R de la superficie esterior, y la botella quedará descargada.

1651. *Milord Mahon* ha consignado en sus principios de electricidad un esperimento muy simple, el que nos conducirá á la esplicacion del fenómeno conocido con el nombre de *choque de regreso* (choc en retour) el que consiste en que un hombre ó un animal colocado bajo una nube tempestuosa, pueden ser heridos del rayo en el momento en que estalla á una grande distancia de ellos.

Esperimento. Se coloca á pequeña distancia del conductor de una máquina eléctrica cuyo disco esté en movimiento, un cilindro metálico aislado cuyas estremidades sean redondeadas, de modo que no se puedan escitar chispas desde el conductor á este cilindro. A una pequeña distancia de este se pone otro cilindro de metal redondeado por un estremo que comunique con el suelo, y bastante vecino del primero para poder salir de él chispas. Estando el conductor de la máquina electrizado por una grande cantidad de fluido V obra contra el fluido natural del primer cilindro, atrae su fluido R y repele al fluido V, el que marcha al comun almacen por medio del segundo cilindro bastante vecino del primero para servir de vehículo al fluido que tiende á escaparse. Hallándose las cosas en este estado, si se saca una chispa del conductor estando el primer cilindro cargado de fluido R, y no impidiendo ya la electricidad del conductor al fluido V de reentrar en él, el fluido R de este primer cilindro ejerce su accion sobre el fluido natural del segundo, repele al fluido R y atrae al fluido V el que regresa al primero, y da una fuerte chispa volviéndole á su estado natural.

Supóngase ahora que un hombre se halle situado debajo de una nube cargada de fluido V, por ejemplo; el fluido R del hombre se halla encadenado en su superficie, y su fluido V va á perderse en el depósito comun. Pero en el momento en que estalla el rayo hallándose la nube descargada, y el hombre cargado de fluido R, su fluido V regresa de repente con una rapidez que produce una conmocion algunas veces bastante violenta para matarle.

Por lo que no es menester creer siempre que uno ha sido herido por el rayo en las circunstancias que se acaban de indicar. Estos funestos accidentes no suceden sino cuando la distancia del individuo á la nube tempestuosa es bastante pequeña para que ejerza sobre él un grande influjo eléctrico; asi el choque de regreso que causa algunas veces violentas conmociones, otras veces no produce mas que muy ligeros sacudimientos.

A esta misma causa deben atribuirse aquellas lenguas de fuego que algunas veces se han visto en tiempos borrascosos salir del piso, de los cuartos y disiparse en el techo.

1652. Falta esplicar en la hipótesis de los dos fluidos los efectos que producen algunos instrumentos de los que anteriormente se ha dado la descripcion, tales como el electróforo, y el condensador.

Despues de haber electrizado la torta resinosa del electróforo, sacudiéndole muchas veces con la piel de un animal lleno de pelo, se aplica el disco armado de un cilindro de vidrio en la superficie de la resina, y se pone un dedo sobre el mismo disco. El fluido R de la torta atrae asi el fluido V del disco de metal, el que no pudiendo pasar á la resina, por ser muy mal conductor de la electricidad, queda en la superficie inferior del disco. El fluido R del mismo disco se halla repelido al mismo tiempo hácia la superficie superior; y como obra con mayor aproximacion sobre el dedo que el fluido V, y ademas su accion es favorecida por la del fluido homogéneo de la resina, descompone el fluido natural del dedo, y vuelve á tomar una porcion de fluido V igual á la que ha perdido. El disco metálico se halla pues en

este caso en el estado de electricidad vítrea ó positiva en virtud de la porcion de fluido V que ha quedado sin combinarse; y de consiguiente si despues de haber retirado el dedo se quita el disco metálico, y se le presenta el dedo ú otro conductor cualquiera, se debe ver una chispa entre el uno y el otro.

El condensador no se diferencia del electróforo, sino en que la torta resinosa está sustituida por un plano de mármol blanco que es semiconductor de la electricidad. Concíbase que estando el disco metálico colocado sobre un plano de mármol blanco reciba por comunicacion una pequeña cantidad de fluido V: este fluido descompondrá un poco el fluido natural del mármol blanco repeliendo hácia abajo al fluido V, y atrayendo á la parte superior al fluido R. El mármol obra tambien sobre el disco en virtud de su fluido R, cuya accion se ejerce á menor distancia para mantener en él la pequeña porcion de fluido V comunicado. Otra cantidad de fluido V llegando despues el disco metálico descompondrá nueva porcion del fluido natural encerrado en el mármol, el que por su parte adquirirá un nuevo grado de fuerza atractiva, y asi sucesivamente. Despues de esto, es claro que el mármol deja una cierta libertad al fluido que contiene para poderse mover en él, pues que es semiconductor. Por la misma razon, el fluido del disco de metal que atrae á sí es detenido por la resistencia que esperimenta en el lugar del contacto, el que se efectúa por superficies planas, cuya figura se presta menos al efecto de la atraccion, que la de las superficies curvilíneas. Las pequeñas cantidades de fluido que recibe sucesivamente el disco de metal podrán pues acumularse en su superficie, hasta al punto de que si se le presenta un conductor, despues de haberlo quitado por medio de su mango de cristal, se sacan de él chispas.

Se han recorrido los principales fenómenos eléctricos, y se ha visto que todos se acomodan con igual facilidad á la hipótesis de los dos fluidos, lo que justifica la preferencia que le damos sobre todas las que se han propuesto hasta aqui para esplicar los mismos fenómenos.

La objecion que se hace á la hipótesis de los dos fluidos de

ser contraria á la simplicidad con que procede la naturaleza, es una objecion mal fundada.

Porque 1.º la naturaleza no nos ofrece cuerpo alguno que goce de la simplicidad absoluta. ¿El fluido que nos ilumina ha podido, no obstante la estrema tenuidad de sus moléculas, resistir á la tentativa del prisma? La simplicidad del fluido eléctrico seria pues una escepcion que no se veria en ningun cuerpo de la naturaleza.

2.º En la produccion de los fenómenos eléctricos se combinan diferentes fuerzas, cuya realidad no es equívoca. ¿Qué hace la hipótesis que se acaba de adoptar? Apoya nuestras ideas haciendo depender estas fuerzas de dos fluidos los que no tienen, puede ser, mas que una existencia imaginaria, pero equivalente á la causa que los produce.

CAPÍTULO IV.

DEL LUGAR QUE OCUPA EL FLUIDO ELÉCTRICO EN LOS CUERPOS CONDUCTORES ELECTRIZADOS.

1653. Los cuerpos conductores gozan de una propiedad notable la que consiste en que el fluido libre que les tiene en estado eléctrico está difundido al rededor de su superficie, de modo que en su interior no se halla cantidad alguna sensible.

Esta propiedad la habian percibido algunos físicos; pero á *Coulomb* debemos el que se haya establecido por esperimentos decisivos de los que despues ha confirmado el resultado por el cálculo.

Los instrumentos que sirven para este objeto son: 1.º un electrómetro de *Coulomb*, cuya sensibilidad es tal que una fuerza de un sesenta mil avos de grano aparta el pequeño disco de papel dorado á 90 grados; 2.º una varita de resina de una línea de diámetro, en cuya estremidad se fija un círculo de papel dorado de una línea y media de diámetro; 3.º un cuerpo conductor cualquiera, aislado y con muchos hoyos en su superficie de poca profundidad. El que *Coulomb* empleó al principio era un cilindro

de madera sólido con muchos hoyos en su superficie de cuatro líneas de diámetro y otro tanto de profundidad.

Primer esperimento. Despues de haber electrizado el cilindro de madera con una botella de Leyden, ó con un disco metálico de un electróforo se aplica en su superficie el pequeño circulo de papel dorado, se retira en seguida para presentarlo al electrómetro; la aguja de este instrumento es repelida con fuerza.

Segundo esperimento. Aplíquese al fondo de uno de estos agujeros el pequeño disco de papel dorado, retírese con la precaucion de que no toque en los bordes del agujero. En este estado si se presenta al electrómetro, no da señal alguna de electricidad.

1654. Estos esperimentos que pueden repetirse con un conductor cualquiera, y particularmente, como lo practicó *Coulomb*, con una esfera hueca de metal agujereada para poder entrar en ella la varilla de resina laca que aisla el circulo de papel dorado: estos esperimentos prueban evidentemente que el fluido eléctrico no penetra en lo interior de los cuerpos conductores, y que sí solo se mantiene en su superficie. *Coulomb* esplica este fenómeno del modo siguiente:

Este célebre físico ha probado (*memorias de la academia*, año 1785) que siempre que un fluido encerrado en un cuerpo en que puede moverse libremente, obra por la repulsion de sus moléculas, con una fuerza menor que la inversa del cubo de las distancias tal por ejemplo como la inversa de la cuarta potencia; para entonces la accion de todas las partes de este fluido que estan á una distancia finita de una de sus moléculas, se aniquila relativamente á la accion de los puntos de contacto. Síguese de aqui que si un cuerpo estuviese lleno de semejante fluido, cada molécula de este seria igualmente repelida de todos lados, y por consiguiente estaria en equilibrio; pero siempre que la accion repulsiva de las moléculas del fluido es mayor que la inversa del cubo de la distancia, cuando es por ejemplo, en razon inversa del cuadrado, lo que tiene lugar en el fluido eléctrico; entonces la accion de las masas del fluido que estan á una distancia finita

nó se desvanece mas cerca de la de las moléculas en contacto, y el equilibrio no puede subsistir.

Para hacer sensible esta verdad sea un cuerpo de una figura cualquiera A*a*BF (fig. 150) lleno de fluido eléctrico cuya fuerza repulsiva obra en razon inversa del cuadrado de las distancias. Por un punto *a* tírese la normal *ab* y por su estremidad *b* tírese un plano *de* perpendicular á *ab*; este plano divide el cuerpo en dos partes la una infinitamente pequeña *daeb*, la otra *d*AFB*ed:* para que hubiese equilibrio seria preciso que todas las fuerzas con las que la parte infinitamente pequeña *dae* obra sobre el punto *b*, siendo descompuestas segun *ab*, hiciesen equilibrio con la accion resultante segun *ba* de toda la masa del fluido esparcida en *d*AFB*e*. En el otro lado del plano *ed* concibamos una pequeña capa *dce* perfectamente igual á *dae:* es evidente que el fluido contenido en *dce* ejercerá sobre el punto *b* una accion igual y contraria á la del fluido contenido en *dae*; porque la distancia *ae* puede en virtud de la ley de continuidad, tomarse bastante pequeña para que la densidad de la electricidad sea la misma en el punto *c* que en el punto *a*; por lo que el fluido contenido en la parte *d*AFB*ecd* ejercerá enteramente su fuerza repulsiva sobre el punto *b*, y de consiguiente el fluido eléctrico no puede existir en equilibrio en el interior de los cuerpos, sino que debe dirigirse enteramente á su superficie.

1655. Pues que el fluido eléctrico libre se mantiene enteramente en la superficie de los cuerpos conductores, es evidente que la densidad eléctrica no es otra cosa que la cantidad de electricidad acumulada en una superficie dada, y de consiguiente debe medirse en general por la masa eléctrica dividida por la superficie.

1656. Síguese tambien de este principio que el fluido eléctrico libre no penetrando en lo interior de los conductores, no puede hallarse alli en estado de tension, y que impropiamente han sustituido algunos físicos esta última voz á la de densidad eléctrica.

CAPÍTULO V.

DEL MODO COMO EL FLUIDO ELÉCTRICO SE DISTRIBUYE EN LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS CONDUCTORES.

1657. El fluido eléctrico no se difunde en la superficie de los cuerpos sino atendida su figura por la repulsion de sus moléculas; de modo que dos globos iguales de diferentes materias puestos en contacto, tendrán despues de su separacion la misma cantidad de electricidad, y con motivo de la igualdad de superficie sus densidades eléctricas serán las mismas. Esta importante verdad se apoya en el esperimento que sigue.

Esperimento. Coulomb suspendió en la balanza eléctrica, por medio de un hilo de resina laca, un globo de cobre en la misma altura que la esferilla de la aguja de este instrumento, de modo que su centro correspondia al cero de la graduacion; la esferilla de la aguja estaba en contacto con el globo, y de consiguiente alejada de la suma de los semidiámetros de las dos esferas, del punto en que la torsion seria nula. Se electrizaron las dos esferillas; y despues de algunas oscilaciones la aguja quedó á los 28 grados, señalando el micrómetro 120 grados; entonces se tocó el globo de cobre con un globo de corcho del mismo diámetro, aislado por medio de un pedazo de resina laca; se retiró al instante, y la aguja se aproximó al globo de cobre. Para volverla á 28 grados fue preciso destorcer el hilo de modo que el micrómetro no señalaba mas que 44 grados.

La aguja estaba al principio á 28 grados, y el micrómetro señalaba 120 grados; por lo que la fuerza de torsion era de 148 grados: en segundo lugar teniendo siempre la aguja la misma posicion, el micrómetro no señalaba mas que 44 grados; asi la fuerza de torsion era 72, y como entre los dos esperimentos se pasó un minuto, durante el que se disipaba en este dia la quincuagésima parte de electricidad total, es menester añadirle un grado y medio, lo que da $73\frac{1}{2}$ grados por la total fuerza de tor-

sion que se halló á medio grado ó $\frac{1}{147}$ cerca, la mitad de la primera fuerza de torsion, luego la bala de corcho tomó exactamente la mitad de la electricidad de la bala de cobre.

1658. *Coulomb* quiso ver despues como se distribuiria el fluido eléctrico entre dos globos desiguales; aqui van algunos de sus esperimentos.

Segundo esperimento. Habiendo electrizado un globo de cobre de seis pulgadas tres líneas de circunferencia, esta repelia la aguja á 30 grados con una fuerza total de torsion de 145 grados; se le presentó un globo de 24 pulgadas de diámetro; y despues de haberlo retirado se volvió á poner la aguja á 30 grados, la torsion del hilo era de 12 grados.

La cantidad de electricidad del pequeño globo es proporcional al ángulo de torsion; es pues igual á 12 despues del contacto, y antes á 145; por consiguiente el pequeño globo ha cedido al grande una cantidad de electricidad 133, y la razon de las masas eléctricas de los dos globos es $\frac{133}{12} = 11{,}1$. Pero las superficies de los globos son como los cuadrados de su circunferencia; sus relaciones pues 14,8; asi las masas eléctricas no crecen en una razon tan grande como las superficies. Para tener la razon de las densidades eléctricas de dos globos, es menester dividir la razon de las masas por la razon de las superficies; la densidad del globo grande es á la del pequeño :: 11,1 : 14,8.

Tercer esperimento. Se han comparado dos globos cuyas superficies eran como 3,36 : 1, y se halló por resultado medio que la razon de las masas del fluido eléctrico era $\frac{3{,}08}{1{,}00}$; luego la razon de la densidad eléctrica del grande globo á la del pequeño es $\frac{3{,}08}{3{,}36} = \frac{1}{1{,}09}$.

Cuarto esperimento. Se han querido comparar dos globos, de los que el uno era muy pequeño con relacion al otro; pero como por el método precedente por fuerte que fuese la electricidad del pequeño globo habria sido poco sensible despues del contacto del grande, se sirvió del método siguiente. Se aisló un globo de 8

pulgadas de diámetro que se queria comparar con otro, cuya superficie no era mas que como la sexagésima segunda parte de la suya. Se presentó el pequeño globo al grande teniéndole aislado, y se llevó á la balanza, la aguja que se hallaba en o fue repelida á 44 grados con una fuerza total de torsion de 244 grados. Se hizo tocar 20 veces el pequeño globo al grande destruyendo cada vez su electricidad, y en la última se llevó á la balanza; la aguja se halló repelida á los 44 grados, siendo la fuerza total de torsion de 126 grados.

La fuerza de torsion es proporcional á la cantidad de electricidad, y como esta fuerza que era al principio de 244 grados no es mas que de 126, el grande globo ha perdido 118 grados de electricidad en los 20 contactos; por lo que en un contacto medio habria perdido $\frac{118}{20}$. Pero en este contacto la fuerza repulsiva medida por la balanza debe ser á corta diferencia media entre las dos observaciones estremas, es decir, de $\frac{244 \times 126}{2} = 185$; luego la relacion de las cantidades de electricidad de los globos grande y pequeño será $\frac{185}{\frac{118}{20}} = 31$. Durante los 20 contactos la pérdida de electricidad ocasionada por el aire ambiente fue de $\frac{1}{8}$ ó $\frac{4}{32}$; pero cada contacto quitaba $\frac{1}{31,4}$ de la electricidad; puédese pues evaluar esta pérdida á 4 contactos; lo que junto da 24 contactos entre las dos observaciones, y de consiguiente $\frac{118}{24}$ por la cantidad de electricidad quitada por el pequeño globo en un contacto medio; por lo que la razon de las cantidades de electricidad del grande y pequeño globo es $\frac{185}{\frac{118}{24}} = 37,6$; pero la razon de las superficies da 62, luego la razon de la densidades será $\frac{37,6}{62} = \frac{1}{1,05}$.

Aplicando á los datos de este esperimento un cálculo mas riguroso se halla por razon de las densidades de los dos globos $\frac{1}{1,67}$; lo que se diferencia un poco del resultado obtenido por aproximacion.

Quinto esperimento. Comparando del mismo modo dos globos cuyas superficies estaban como 2304 á 1, se ha hallado que la razon de las densidades de los globos grande y pequeño era de 2 á 1; lo que es á corta diferencia el límite de la razon de la densidad eléctrica de dos globos separados despues del contacto.

1659. Segun lo que precede se puede formar la siguiente tabla:

Razon de los radios de los globos.	*Razon entre las superficies.*	*Razon de la densidad eléctrica entre el pequeño globo y el grande.*
1	1	1
2	4	1,8
4	16	1,30
8	64	1,67
:	:	:
∞	∞	2, ∞

Esta tabla indica solamente la razon de las densidades eléctricas despues que los dos globos han sido separados, pues que vamos á ver que durante el contacto la densidad eléctrica no es uniforme en cada globo.

De la distribucion del fluido eléctrico sobre diferentes puntos de dos globos en contacto.

1660. Para determinar la densidad eléctrica de diferentes puntos de los globos basta llevar al primer punto un plano de papel dorado de 4 ó 5 líneas de diámetro, aislado por medio de

un hilo de resina laca. Se presenta en seguida á la balanza, la que señala la fuerza eléctrica de este punto, se repite la misma operacion por cada punto, y la comparacion de los resultados da la razon de las densidades eléctricas.

Cuando dos globos se tocan, la densidad debe ser menor en cada uno de ellos cerca el punto de contacto, porque la fuerza repulsiva del fluido eléctrico del otro globo es mayor como que obra á menor distancia. Esto lo confirma la esperiencia. *Coulomb* ha hallado tambien que cuando mas desiguales son los globos, tanto mas varía la densidad en el pequeño entre 0 y 180 grados del punto de contacto, y que se aproxima mas á la uniformidad en el grande globo: asi, por ejemplo, habiendo puesto un globo de ocho pulgadas en contacto con otro de dos pulgadas se ha hallado que la densidad era insensible en el pequeño globo desde el punto de contacto hasta á 30 grados de este punto; que á 45 grados del contacto era á poca diferencia el cuarto de la de 90 grados, y que desde los 90 hasta á los 180 grados aumentaba en la razon de 10 á 14. En el globo de 8 pulgadas, al contrario, la densidad era nula hasta á los 4 ó 5 grados del punto de contacto; aumentaba despues rápidamente hasta á los 30 grados, y parecia uniforme desde este punto hasta á los 180 grados.

Cuando se ha colocado un pequeño globo entre otros dos globos iguales, pero mayores que el primero, es claro que los dos deben tomar la misma densidad eléctrica, por hallarse en las mismas circunstancias. En cuanto al globo del medio su fluido eléctrico es repelido por el de los dos globos estremos; por lo que debe tener una densidad menor particularmente cerca de los puntos de contacto. Si el globo del medio fuese muy pequeño los otros dos globos estremos deberian constituirle en un estado opuesto de electricidad. Por el cálculo da la razon de los diámetros de los globos en que este caso tendria lugar, *Coulomb* ha hallado esperimentalmente que cuando el diámetro del pequeño globo era menor que la sexta parte de los otros dos, la densidad en aquel era nula; porque jamas, por pequeño que fuese, se poseia de una electricidad opuesta á la de los otros dos globos. Pero

cuando se separan dos globos electrizados, de los que el uno sea mucho menos pequeño que el otro, el punto del primero que estaba en contacto toma una electricidad opuesta á la del sistema, la conserva hasta á una cierta distancia en que se hace nula, y alejando aun mas los globos, este punto toma la misma especie de electricidad que el resto del globo.

Todos estos resultados se esplican fácilmente por medio de la ley á que estan sujetas las atracciones y repulsiones eléctricas. Puédese de aqui deducir y de los esperimentos precedentes, que el fluido eléctrico está distribuido en la superficie de los cuerpos sin formar al rededor de ellos una atmósfera muy estendida.

Distribucion del fluido eléctrico entre muchos globos iguales puestos en contacto.

1661. *Coulomb* colocó 6 globos, cada uno de dos pulgadas de diámetro, de modo que sus centros estuviesen sobre una misma línea recta, y midió con la balanza, la electricidad de cada uno de ellos. Halló, comparándolos de dos en dos, que los globos que se hallaban á la misma distancia de los estremos, tenian la misma densidad eléctrica, y que esta densidad disminuia alejándose de los estremos hácia al medio en que era la menor. La densidad del primero era á la del segundo como 1,48 : 1, y á la del tercero como 1,56 : 1; la densidad eléctrica disminuye pues de un tercio del primer globo al segundo, y solamente de un quindécimo del segundo al tercero.

Este fenómeno se esplica tambien por estos dos principios: 1.º que el fluido eléctrico no penetra en lo interior de los cuerpos; 2.º que obra en razon inversa del cuadrado de las distancias.

El autor ha hecho el mismo esperimento en una fila de doce globos, y obtuvo 1,50 por razon de las masas y de las densidades eléctricas del primero y del segundo globo, y 1,70 por razon de las masas eléctricas del primero y sexto globo.

En una fila de 24 globos la razon de las cantidades de electricidad del primero y del segundo globo era 1,56, y la de las

cantidades de electricidad del primero al duodécimo era 1,75. Se ve pues que cualquiera que sea el número de globos, la densidad media del fluido eléctrico en cada uno de ellos disminuye considerablemente desde el primero al segundo, y muy poco desde este hasta al del medio de la fila.

Distribucion del fluido eléctrico sobre muchos globos desiguales.

1662. Poniendo dos globos de dos pulgadas de diámetro en contacto con un globo de 8 pulgadas de diámetro, se ha hallado que la cantidad de electricidad del pequeño globo mas lejano del grande era á la del mas inmediato como 2,54 : 1.

Cuatro globos de dos pulgadas colocados en seguida de un globo de 8 pulgadas se pusieron dos de los pequeños el mas inmediato y el mas lejano del grande en la razon de 3,40.

Habiendo colocado 24 globos de dos pulgadas de diámetro en seguida del grande globo, *Coulomb* comparó el vigésimo cuarto globo pequeño, es decir el último de la fila, con muchos de la misma; los resultados fueron los que siguen:

La electricidad del vigésimo cuarto es á la del vigésimo tercero : : 1,49 : 1,00.

La electricidad del vigésimo cuarto es á la del duodécimo : : 1,70 : 1,00.

La electricidad del vigésimo cuarto es á la del segundo : : 2,10 : 1,00.

La electricidad del vigésimo cuarto es á la del primero que se halla en contacto con el grande globo : : 3,72 : 1,00.

En fin la electricidad del vigésimo cuarto es á la del grande globo : : 2,16 : 1,00.

Distribucion del fluido eléctrico sobre un cilindro y sobre una esfera en contacto con cilindros.

1663. Se aisló un cilindro de dos pulgadas de diámetro y 30 de longitud, y se operó del mismo modo que para comparar la electricidad de diferentes puntos de una esfera; los resultados fueron los que siguen:

La densidad de la parte media del cilindro es á la de la estremidad : : 1,00 : 2,30.

La densidad del medio del cilindro es á la de un punto dos pulgadas distante de la estremidad : : 1 : 1,25.

La densidad en el medio del cilindro es á la de un punto sobre el hemisferio que termina el cilindro á una pulgada de su estremidad : : 1,00 : 1,80.

Resulta de aqui que en las dos últimas pulgadas de la estremidad del cilindro, la electricidad es mucho mayor que en medio del cilindro, pero que varía poco entre estos dos límites.

Se ha electrizado un globo aislado de 8 pulgadas de diámetro y se ha examinado su fuerza eléctrica, tocándole con un pequeño globo aislado que se llevaba inmediatamente á la balanza. Se tocó este globo con un cilindro de dos pulgadas de diámetro y de treinta de longitud: despues de haberlo separado se hizo el mismo examen, y resultó que la cantidad de fluido eléctrico del globo es á la del cilindro despues de la separacion : : 66 : 82, ó : : 1,00 : 1,21.

La superficie del globo es á la del cilindro : : 64 : 60; luego la densidad del globo es á la del cilindro : : $\frac{1,00}{84}$: $\frac{1,21}{60}$ ó : : 1,29 : 1,00.

CAPÍTULO VI.

DE LA NATURALEZA DEL FLUIDO ELÉCTRICO.

1664. La analísis y la síntesis son los solos medios que puedan conducirnos á conocer la naturaleza de los cuerpos; pero el fluido eléctrico ha resistido hasta ahora á la actividad de nuestros esfuerzos para sujetarse á estas tentativas. En el estado actual de nuestros conocimientos no podemos pues ofrecer mas que conjeturas muy arriesgadas sobre la naturaleza de un fluido del que hasta su existencia estriba en pruebas que estan lejos de tener aquel rigor y precision que reclama la física moderna. *Henley* piensa que el calórico combinado, el fluido eléctrico y el fuego no son mas que diferentes modificaciones de un solo y mismo elemento. El primero nos indica su estado de reposo, el segundo

nos anuncia su primer grado de actividad, el tercero nos lo presenta en una violenta agitacion. Esta opinion está apoyada en muchos esperimentos que encierra la traduccion francesa del tratado de electricidad de *Cavallo*, pág. 94.

Otros físicos juzgan que el fluido eléctrico resulta de la combinacion del fluido luminoso con el gas hidrógeno; pero hasta aqui ningun esperimento exacto ha confirmado esta sospecha. Limitémonos en hacer ver que el fluido eléctrico, el calórico y el fluido luminoso tienen propiedades comunes y otras que los distinguen.

El fluido eléctrico inflama los cuerpos y licua los metales como el calórico; se manifiesta como el fluido luminoso en forma de penachos y de brillantes estrellas; está difundido por todas partes como el calórico y el fluido luminoso. Se pone en accion por medios semejantes á los que se emplean para escitar la del calórico. Estos dos fluidos se mueven uno y otro mas fácilmente por los metales y cuerpos húmedos que por el vidrio y la madera seca. Uno y otro en el rigor del invierno tienen mayor actividad y energía que en los fuertes ardores del verano.

Por otro lado el fluido eléctrico difunde un olor de azufre ó de fósforo que no pertenece ni al calórico ni al fluido luminoso. El calórico penetra las grandes masas con mucha lentitud, el fluido eléctrico las pasa con una rapidez inconcebible. Los cuerpos calentados se enfrian lentamente, al paso que pierden casi instantáneamente su virtud eléctrica si comunican con buenos conductores. El vidrio al que el fluido luminoso atraviesa con facilidad, es casi impermeable para el fluido eléctrico. En fin los cuerpos calentados ó luminosos no tienen la propiedad de atraer y repeler los cuerpos ligeros á una distancia sensible como lo hacen los eléctricos.

CAPÍTULO VII.

DE LA ELECTRICIDAD ANIMAL.

1665. Llámase *electricidad animal* la que se manifiesta en

muchos animales, sin que se les haga sentir el influjo de algun cuerpo electrizado.

Desde mucho tiempo hace se conoce una especie de rayo que se halla en las costas de Francia la que se llama *torpedo*, porque entorpece la mano del que la toca.

Muchos otros peces tales como la *tembladera del Niger* y la *anguila* de surinam gozan de la misma propiedad. La falcultad de entorpecer en este último pescado tiene aun mayor actividad y energía que la què se manifiesta en el torpedo.

Galvani ha hecho ver que cuando se hacen tocar los músculos de las piernas con los nervios crurales de una rana recientemente desollada, el animal esperimenta una especie de convulsion. Este físico habia obtenido el mismo efecto haciendo comunicar el nervio con el músculo por medio de una sustancia muscular que no perteneciese al animal en quien se hacia sentir la convulsion.

M. Aldini, sobrino de *Galvani* acaba de llamar la atencion de los físicos sobre los esperimentos de su tio, los que ha presentado bajo nuevo órden.

1.° Escita fuertes contracciones haciendo comunicar el nervio con el músculo de una rana desollada, por medio de una cadena de muchas personas.

2.° Toma la cabeza de un perro, ó de un animal cualquiera que se acaba de decapitar, y hace tocar los músculos de la rana, sea con la medula espinal ó con los ligamentos nerviosos de la cabeza del perro por una parte, y por la otra con el músculo del tronco del perro, sucede al instante contraccion, sea en los músculos de la cabeza del perro sea en el tronco.

3.° Por iguales medios produce los mismos efectos en hombres recientemente decapitados.

1666. En la época del descubrimiento del poder de entorpecer del torpedo algunos físicos atribuyeron este fenómeno á la emision de una infinidad de corpúsculos que salian continuamente del torpedo, cuya emanacion la ponian mas rápida y abundante en ciertas circunstancias, la que insinuándose en los miembros los entorpecia, sea porque se precipitasen en demasiado nú-

mero, sea porque no hallaban caminos acomodados á sus figuras.

Otros atribuian la accion del torpedo á un sacudimiento particular que este imprimia á los nervios, del que resultaba una sensacion mas ó menos viva segun las circunstancias.

Schilling creyó reconocer en la anguila de surinam efectos magnéticos muy sensibles, los que despues de ulteriores esperimentos hechos con cuidado por físicos distinguidos son evidentemente ilusorios.

Bancrost es el primero que ha entrevisto la analogía entre los fenómenos del torpedo y los eléctricos, y los esperimentos de *Walch* miembro del parlamento de Inglaterra, han justificado plenamente esta sospecha. Este físico hizo arreglar en círculo un grande número de personas, de las que la primera comunicaba con la cara inferior; todas sintieron la conmocion en el momento en que la última tocó con el escitador la cara superior.

Sujetando al esperimento la anguila de surinam, *Walch* llegó á hacer ver en una profunda oscuridad chispas entre dos cuerpos metálicos situados á muy corta distancia el uno del otro, y que comunicaban con los cuerpos al traves de los que se hacia la descarga eléctrica.

Se juzga que los peces dotados de la virtud eléctrica la emplean con destreza para transmitir al traves del agua una conmocion imprevista á los peces de especie diferente á los que van á tomar.

1667. Los esperimentos de *Walch* parecieron decisivos en favor de la opinion de los físicos que miraron las conmociones dadas por los peces eléctricos como análogas á las que hace sentir el esperimento de Leyden. En el dia *M. Volta* apela á una opinion diferente; este juzga que la pila eléctrica debe ser el verdadero término de comparacion. Entre las sustancias húmedas de que se compone el órgano del torpedo, las unas, segun *Volta*, son propias para escitar la electricidad por su reciproco contacto; y otras para difundirla, de modo que la superposicion de diversas capas formadas de estas sustancias, ofrece grande número de analogías con la de los metales y de los conductores húmedos

que se ponen en la pila. Esto sin duda no es mas que una conjetura que necesita apoyarse en nuevos esperimentos fundados en una determinacion precisa de las sustancias que componen el órgano de los peces eléctricos, y de las funciones que ellos ejercen.

CAPÍTULO VIII.

DE LA ELECTRICIDAD DE LA ATMÓSFERA.

1668. Los cuerpos que sujetamos á nuestras tentativas no tienen el privilegio esclusivo de dar señales de electricidad. El poder eléctrico se manifiesta tambien de un modo muy sensible en el aire, la lluvia, la nieve, el granizo y en las nubes que fluctuan por el seno de la atmósfera. Estos cuerpos reciben su virtud de las manos de la naturaleza por medios que no conocemos aun, aunque los esperimentos de *Lavoisier* no nos permiten dudar que los cuerpos pasando al estado de vapores quitan á la tierra una porcion del fluido eléctrico que le es propio.

La existencia de la virtud eléctrica en esta masa fluida que rodea la tierra al principio no fue mas que una simple sospecha, la que despues ha tomado todos los caractéres de la certitud, desde que *Franklin* concibió el proyecto de elevar un aparato eléctrico hasta á las regiones de las nubes, arrancar asi el fluido eléctrico de la atmósfera, sustituirlo al de nuestras máquinas y obtener sin su socorro la mayor parte de los efectos que ellas producen.

Dalibart fue el primero, segun se cree, que realizó esta atrevida idea de *Franklin*. Hizo establecer cerca de Marly-la-Villa una cabaña encima de la que fijó una barra de hierro de 15 metros (cerca 40 pies) de longitud, aislada por la base. Habiendo pasado por encima una nube tempestuosa y por la inmediacion de la barra, esta dió chispas al aproximarle el dedo, y se vieron en ella todos los efectos de los conductores metálicos que electrizamos por el proceder ordinario.

Romas adelantó esta práctica, enviando á las nubes tempes-

tuosas un cometa armado de una varilla que terminaba en punta.

Rischman profesor de física en Petersburg, fue víctima de su zelo para el adelantamiento de la ciencia. Este fue herido del rayo al lado del aparato que habia dispuesto para recibir el fluido que lo produce.

Estos esperimentos que en el dia ya no se repiten, sin duda por el peligro que les acompaña, han servido 1.° para demostrar la analogía que hay entre los fenómenos del rayo y los fenómenos eléctricos; 2.° para suministrarnos el medio de librar nuestras habitaciones de las esplosiones del rayo, atrayendo por medio de una varilla de hierro terminada en punta, y levantada en lo mas alto del edificio el fluido eléctrico de las nubes tempestuosas que pasen por la inmediacion.

1669. *Ermann* ha publicado interesantes indagaciones sobre la electricidad de la atmósfera. Paseándose por el campo tiene en su mano el electrómetro de *Bennet*, armado por encima con una varilla de un metro (cerca 3 pies) de longitud. Cuando lo eleva prontamente desde la tierra, nota una grande diverjencia en las hojas de oro, y la electricidad es positiva ó vítrea; cuando baja el electrómetro con la misma celeridad, la diverjencia de las hojas es tambien considerable, pero la electricidad es resinosa ó negativa.

Cuando se eleva el electrómetro con lentitud, no se nota electricidad.

Cuanto mas aislante es el aire, menos necesidad se tiene de elevar ó bajar el electrómetro.

El movimiento circular aun á igual distancia de la tierra no hace notar electricidad. El movimiento progresivo en un terreno horizontal tampoco produce efecto, pero si el terreno sube, aunque sea insensiblemente, se observa el fenómeno, y es bastante estraordinario que se pueda nivelar el terreno por medio de este proceder.

Los vapores que se elevan de la tierra dan siempre una electricidad positiva ó vítrea; estos no dan electricidad resinosa ó negativa sino cuando los cuerpos de que salen estan aislados. Este

resultado de *Ermann* está conforme con el de *Lavoisier*, del que se ha hablado en el principio de este artículo.

La lluvia y la nieve al caer dan una electricidad negativa ó resinosa.

1670. Estos resultados conducen á *Ermann* á pensar que un cuerpo aislado que se elevase con rapidez en la navecilla de un globo aerostático adquiriria una fuerza particular positiva ó vítrea, y que la electricidad al bajar seria resinosa ó negativa. Si se coloca el electrómetro en la inmediacion de la superficie de la tierra, la electricidad es menos sensible. Dos electrómetros puestos en la misma capa de aire, y aun á cierta distancia no dan señal alguna de electricidad, pero la manifiestan desde que se aproximan el uno al otro.

De todos estos hechos, *Ermann* concluyó que todos los cuerpos, aun aquellos que estan en equilibrio con la tierra, tienen atmósferas eléctricas en el aire libre, de que resulta una modificacion en su estado eléctrico. Muchos otros físicos han hecho por medio del electrómetro, repetidas observaciones sobre la electricidad de la atmósfera. Los resultados que siguen son los que *Cavallo* ha obtenido acerca de este objeto.

1.° Existe siempre en la atmósfera mayor ó menor cantidad de electricidad.

2.° La electricidad de la atmósfera ó de las nieblas esparcidas en el aire es siempre positiva ó vitrea, pues que el electrómetro se halla constantemente en el estado resinoso ó negativo, esceptuando el caso en que su estado es mudado por alguna nube que se mantenga en su zenit.

3.° La electricidad se halla en general en su mayor estado de fuerza cuando el tiempo es frio; pero jamas es mas débil que cuando el tiempo es caliente y dispuesto á la lluvia.

4.° En igualdad de circunstancias la electricidad es tan fuerte de noche como de dia.

5.° La electricidad atmosférica es mas vigorosa en los lugares elevados que en las regiones menos distantes de la superficie de la tierra.

LIBRO DUODÉCIMO.

PARTE TERCERA.

DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA.

La electricidad galvánica es aquella propiedad que tienen las sustancias animales puestas en contacto con metales, de esperimentar una irritacion, la que se manifiesta por movimientos muy sensibles.

CAPÍTULO PRIMERO.

ORÍGEN DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA.

1671. La electricidad galvánica toma el nombre de *Galvani*, á quien se atribuye el honor de este descubrimiento, aunque su verdadero origen sube al año 1767 época en que *Sulzer* publicó el esperimento siguiente, en una obra que tiene por título *Teoria general del gusto*.

Tómanse dos láminas de metales diferentes, tales como zinc y plata; se coloca una de estas encima la lengua, y la otra debajo, de modo que salgan un poco del estremo de este órgano; se inclinan despues la una hácia la otra por sus estremidades salientes hasta que se toquen. En el instante del contacto se siente un sabor picante el que *Sulzer* le compara al que produce el sulfate de hierro. La sensacion que produce á la lengua este esperimento es á menudo acompañada de una especie de luz que parece pasar por delante los ojos. A este hecho que al principio no tuvo consecuencia, sucedió otro en 1789, el que fijó la atencion de los físicos, y dirigió su actividad á esta especie de indagaciones. Un

estudiante en medicina, de Bolonia, disecaba una rana viviente la que en una mano la tenia en una posicion fija, cuando habiendo tocado con un escalpelo el nervio difragmático del animal sintió una conmocion bastante fuerte para entorpecer la mano.

La casualidad no tardó en presentar á *Galvani*, profesor de anatomía en Bolonia un fenómeno semejante. Habia ranas desolladas encima de una tabla en que se hallaba una máquina eléctrica. Un discípulo aproximó la punta de un escalpelo á los nervios crurales de uno de estos animales, y al instante todos sus músculos esperimentaron fuertes convulsiones. Otro discípulo creyó haber notado que las convulsiones sucedian en el momento en que se sacaba una chispa del conductor de la máquina. Se dió parte á *Galvani* de lo que acababa de pasar. Repitió el esperimento, unas veces haciendo concurrir la chispa eléctrica con la aplicacion de la punta del escalpelo sobre los nervios de la rana, otras empleando separadamente sea la accion de la máquina, sea la del escalpelo, y vió que las contracciones no sucedian en este último caso, y que la chispa bastaba para hacerlas aparecer de nuevo.

Habiendo *Galvani* fijado cerca del conductor de una máquina eléctrica un hilo de metal aislado, lo condujo por muchas piezas de su casa, y en la estremidad del hilo mas distante de la máquina puso una varilla metálica de la que estaba suspendida, por sus nervios crurales, una rana preparada de modo que sus pies estaban en contacto con el cuerpo conductor. Desde el instante que se sacaron chispas del conductor de la máquina eléctrica, se vieron las contracciones en la rana.

Para saber hasta que punto podia el aire contribuir á la produccion del fenómeno, *Galvani* suspendió una rana preparada de un garfio metálico que se sumergía en un recipiente de cristal, y colocó este aparato en un baño de mercurio en las inmediaciones de una máquina eléctrica. Cuando se sacaron chispas del conductor de la máquina, se manifestaron las contracciones musculares. Èl recipiente que encerraba la rana fue colocado en una platina de la máquina neumática; se hizo el vacío y sacando

chispas del conductor de la máquina eléctrica se produjeron las contracciones.

Galvani varió de muchos modos esta especie de esperimentos, unas veces con la botella de Leyden, otras con el electróforo, y otras por medio de la electricidad que manifiestan las nubes tempestuosas. El suceso fue y debia ser siempre el mismo, porque todos estos medios son igualmente propios para poner en movimiento una cierta cantidad de fluido eléctrico.

Los fenómenos que preceden no son pues fenómenos galvánicos; es evidente que pertenecen á la clase de fenómenos eléctricos ordinarios, y no se colocan aqui sino para que sirvan para prepararnos acerca el descubrimiento de la especie de electricidad que nos ocupa.

1672. Un dia que *Galvani* habia cogido una rana por medio de un corchete de cobre fijado en su medula espinal, comprimió este garfio contra las varillas de hierro de una reja de su jardin, y repitiendo esta operacion, vió escitarse muchas veces en la rana contracciones que sospechó no tener relacion con el influjo de la electricidad atmosférica. Para justificar esta sospecha transportó á su gabinete la rana pendiente de su garfio de cobre y la colocó encima de una plancha de hierro: las contracciones se renovaron desde el momento que el garfio de cobre en que estaba fijada la rana fue comprimido contra la plancha de hierro. Admirado del fenómeno *Galvani* multiplicó los esperimentos de este género, y los resultados que constantemente obtuvo le condujeron á referir todos los fenómenos de este género á una comunicacion establecida entre los músculos y los nervios de una rana por medio de un arco metálico.

Aqui empieza la electricidad galvánica; aqui se halla el verdadero origen de esta nueva clase de fenómenos que fija la atencion de los físicos modernos y de los que el capítulo que sigue encierra la descripcion.

CAPÍTULO II.

DESCRIPCION SUCINTA DE LOS FENÓMENOS GALVÁNICOS.

1673. Entre todos los medios que pueden servir para escitar la electricidad galvánica, el mas favorable consiste en hacer comunicar dos puntos de contacto mas ó menos distantes entre sí en un sistema de órganos nerviosos ó musculares. Todo el aparato de esta comunicacion representa en el momento de la accion un círculo entero dividido en dos partes, cuyas intersecciones se hallan en los dos puntos de contacto. Una de estas partes se llama arco animal, la otra ha recibido el nombre de *arco escitador*.

El arco animal se compone, 1.° de órganos nerviosos ó musculares; y como los músculos pueden siempre ser mirados como mas ó menos penetrados por los nervios que se distribuyen en ellos, se habia deducido que los órganos nerviosos forman la parte esencial del *arco animal*. Pronto se verá que esperimentos bien comprobados deponen contra la exactitud de esta conclusion.

2.° Entre los órganos musculares del hombre, y de los animales de sangre roja, el corazon es el que conserva por mas largo tiempo la escitabilidad galvánica. Segun los esperimentos de *Nysten* el corazon de un hombre decapitado era aun sensible á la accion galvánica cuatro y media horas despues de su muerte, y el de una rana quince horas despues de la muerte; de lo que este físico dedujo que el corazon, este órgano que da las primeras señales de vida, es tambien el que da las últimas. (*Jornal de física*, Frimario año 11, pág. 465.)

3.° Los órganos nerviosos ó musculares no entran esclusivamente en la formacion del arco animal. *Circaud* ha hecho ver que la parte fibrosa de la sangre se contrae fácilmente espuesta á la influencia galvánica; de que dedujo que la contraccion de los músculos en semejantes esperimentos, no viene de los nervios que estan distribuidos en ellos, pues que la fibrina de la sangre no tiene nervios. (*Jornal de física*, Frimario año 11, pág. 469.)

4.° Todas las partes del arco animal deben estar continuas ó contiguas entre sí: la simple contiguidad basta para dar orígen al galvanismo; pues que la esperiencia hace ver que la seccion de un nervio ó su ligadura no interrumpe el arco animal, con tal que las partes ligadas ó divididas queden contiguas entre sí.

5.° La diversidad de partes que concurren en la formacion de este arco, sea que se tomen en diferentes órganos del mismo individuo ó en diferentes individuos, no interrumpe la integridad del arco, con tal que las partes de que está formado conserven su contiguidad.

6.° La integridad del arco animal, roto por la division de alguna de sus partes y por un intervalo que la separe, se restablece por la interposicion de algunas sustancias no animales, y particularmente de sustancias metálicas, con tal que en esta interposicion, la continuidad de todas las partes se mantenga constantemente.

7.° Los animales destinados para los esperimentos galvánicos deben estar desnudos de su epidermis, cuya presencia disminuye la energía del galvanismo.

El arco escitador se compone regularmente de tres piezas, dos de ellas puestas en contacto con las partes del animal entre las que se establece la comunicacion, se llaman *apoyos* ó *armaduras*. La tercera que sirve para establecer la comunicacion, por su continuidad con las otras, lleva el nombre de *comunicador*.

La esperiencia da los siguientes resultados concernientes al arco escitador. Las sustancias mas propias para la formacion de este arco son las que son buenos conductores de la electricidad galvánica.

2.° Las tres piezas de que se forma el arco escitador se hacen regularmente de metales diferentes, y esta disposicion parece la mas favorable de todas.

3.° La presencia de tres metales diferentes no es necesaria para la produccion de los fenómenos galvánicos, porque si se pone por armadura en el músculo de una rana desollada una pieza de plata ó de estaño, quedando el nervio desnudo, y se toca con

un comunicador de metal por una parte el nervio desnudo, por otra la pieza colocada debajo del músculo, se ve la convulsion en el músculo.

4.° El arco escitador puede ser compuesto de un solo metal, y aun ser formado de una sola pieza. Para convencerse de esto, basta segun *M. Humbolt*, disponer las partes de una rana desollada encima de un baño de mercurio muy puro y seco, de modo que el nervio libre y la carne muscular vengan juntos á tocar en la superficie del mercurio: desde el momento del doble contacto, la convulsion se manifiesta en el músculo. Se obtiene un efecto igual, disponiendo el doble contacto en la superficie de un solo pedazo de plata, de plomo, etc.

5.° Puédense obtener contracciones musculares sin el socorro de metal alguno. Este género de fenómenos es ageno de la electricidad galvánica.

1674. Puédense variar de diferentes modos los esperimentos de esta especie. Despues de haber colocado encima un sustentáculo de plata una cajita de zinc ó de estaño llena de agua, si se toca la plata con una mano bien mojada, y el agua con el estremo de la lengua, se recibe la impresion de un sabor ácido.

Si se aplica una pieza de plata sobre uno de los ojos, y se toca con una varilla de zinc que comunique con el otro ojo, se recibe la impresion como de un relámpago.

Diferentes causas se combinan para aumentar ó disminuir el influjo galvánico. La esperiencia hace ver que se escita por el ejercicio, se desvanece por la continuidad de movimiento y se impide por el reposo. La chispa eléctrica restablece la susceptibilidad de los animales agotada por repetidas tentativas. El alcohol y el ácido muriático oxigenado son contrarios para la produccion de los fenómenos galvánicos. La accion del galvanismo es nula sobre los animales sufocados por el vapor de carbon ó por el gas hidrógeno sulfurado; produce su efecto en los animales que han perecido debajo el recipiente de la máquina neumática, en el gas hidrógeno, en el gas ácido sulfuroso etc. etc.

1675. Estos son los principales fenómenos de que se componia

el galvanismo, cuando el deseo de conocer la causa dió orígen á fenómenos mucho mas importantes, los que van á fijar nuestra atencion.

Galvani miraba la contraccion muscular como la parte esencial de los fenómenos galvánicos, y suponia para esplicarlos, la existencia de un fluido particular inherente á las partes animales al que llamó *fluido galvánico.*

M. Volta pretendia que el arco animal introducido en los esperimentos galvánicos, no servia mas que para recibir el influjo y nada á producirlos. Este mira la contraccion de los músculos como un efecto secundario, al que da orígen el mutuo contacto de los dos metales de que se compone el arco escitador.

Volta para apoyar su opinion imaginó un aparato ingenioso conocido con el nombre de *pila de Volta*, cuya invencion hará época en la historia de la ciencia, y de que conviene hablar circunstanciadamente.

Descripcion de la pila Voltaica y fenómenos á que da origen este aparato.

1676. Esta pila se compone regularmente (fig. 151) de planchas de cobre de algunos milímetros de espesor. Encima cada una de estas planchas que estan aqui designadas por la letra *a* descansa una plancha de zinc indicada por la letra *z*, y cada par de planchas que se mira como uno de los elementos de la pila estí separado por un conductor húmedo *c*, hecho de carton ó de paño embebido de una disolucion salina, cuyo diámetro no debe jamas esceder al de las planchas de metal. Para mayor simplicidad las planchas que componen cada par estan estrechamente soldadas.

M. Volta construyó otro aparato conocido con el nombre de *corona de tazas* (fig. 152) con una serie de vasos llenos de agua hasta determinada altura, los que comunican entre si por medio de arcos metálicos que tienen una plancha de plata ó de cobre soldada en una de sus estremidades, y otra de zinc soldada en la

otra estremidad: cada uno de estos conductores está dispuesto de modo que el cobre ó la plata esté sumerjida en el agua que contiene el uno de los vasos, y el zinc en la que contiene el que sigue. Hay ademas en cada vaso una plancha de cobre ó de plata, y otra de zinc que pertenece á dos conductores diferentes las que estan mantenidas á alguna distancia entre sí. Resulta de aqui que la sucesion de los metales y de los conductores húmedos es la misma que en la pila.

1677. *M. Cruikskank* imaginó despues el arreglar los metales que componen las baterias galvánicas, en una cuba de madera bien cerrada por el fondo en la que hay señaladas divisiones á la distancia de nueve milímetros (un tercio de pulgada) la una de la otra (fig. 153). En cada una de estas divisiones se fijan con resina almasiga planchas cuadradas de zinc ó de cobre soldadas entre sí. El espacio entre cada par de planchas forma una celdilla destinada á recibir un líquido. Este aparato tiene sobre la pila la doble ventaja: 1.º se arreglan los pares metálicos con mayor facilidad; 2.º este aparato tiene mucha mayor actividad que la pila.

1678. La pila eléctrica ha llegado á ser entre las manos de los físicos una especie de nueva máquina eléctrica, que ha dado orígen á notables fenómenos.

Primer esperimento. Tómase con una mano una muy pequeña botella de Leyden, y aplícase su boton por el tiempo de algunos minutos á la superficie superior ó inferior de la pila aplicando al mismo tiempo la otra mano á la otra estremidad: el boton de la botella en contacto con el estremo de la pila que corresponde al zinc, recibe la propiedad de repeler en el electrómetro de *Coulomb* el disco cargado de electricidad resinosa ó negativa, y de atraer en el mismo electrómetro el disco cargado de electricidad vítrea ó positiva. Si se coloca el mismo boton en el estremo de la pila que corresponde á la plata, adquiere la propiedad de repeler el disco cargado de electricidad vítrea ó positiva, y de atraer el disco cargado de electricidad resinosa ó negativa: de que resulta que la estremidad de la pila que correspon-

de al zinc comunica á la botella las propiedades atractivas y repulsivas que caracterizan la electricidad resinosa ó negativa, y que la estremidad que corresponde á la plata comunica á la botella las propiedades que distinguen la electricidad vítrea ó positiva.

Segundo esperimento. Cuando se tocan á un tiempo las dos estremidades de la pila, con un mismo hilo de hierro, se escita en el momento del contacto, una especie de chispa compuesta de un punto luminoso, y de un penacho rojizo que centellea en todos sentidos al rededor del punto luminoso como por deflagracion. Esta especie de chispas reconocen probablemente por causa la combustion de los hilos, porque solo las dan los metales oxidables.

Tercer esperimento. Se mojan enteramente las dos manos, y se tocan con un dedo por una y otra parte las estremidades de la pila, teniendo embebidos los cartones que entran en su estructura con una disolucion de muriate de amoniaco: en el momento del contacto se siente una conmocion que se estiende hasta al codo. Si la mano estuviese seca, la conmocion seria nula. Cuando para tocar la pila se toma un tubo metálico mojado y bastante grande para llenar del todo la mano, el efecto aumenta en actividad y energía. Si cogiéndose muchas personas con la mano, la primera y la última se ponen en contacto con las estremidades de la pila, todas sienten á un tiempo la conmocion cuando el número de personas es pequeño y tienen las manos bien mojadas; pero disminuyendo la intensidad de accion á medida que se aumenta el número de intermedios, deja de ser sensible cuando estos intermedios se elevan á un número que el esperimento da á conocer. Se puede dar un nuevo grado de actividad á la conmocion aislando las personas que forman la cadena.

1679. Varios físicos se han ocupado en aumentar los efectos de la pila, unas veces multiplicando el número de pares metálicos, otras dándoles mucha superficie.

Van-Marum ha hecho ver que dada la misma superficie las fuerzas de las conmociones aumentan con el número de planchas;

Pepys ha demostrado que dado el mismo número de planchas la magnitud de su superficie da á la pila una admirable actividad para quemar hilos ó láminas metálicas. Pronto se verá que el número y la magnitud de las planchas tienen mucha influencia en la descomposicion de los álcalis y de las tierras.

1680. La pila de *Volta* presenta inconvenientes que los físicos han procurado desvanecer: 1.° su accion no es permanente; 2.° los metales de que se compone la pila se oxidan fuertemente, y exige mucho cuidado y trabajo el destruir la impresion de la oxidacion.

El carton y el paño mojados no teniendo segun *Volta*, otro influjo en los fenómenos de la pila que la de presentar al fluido eléctrico un paso libre y fácil, era natural procurar sustituirle un buen conductor sin humedad, y construir asi pilas simplemente con sustancias secas; pero los esfuerzos de los que han dirigido su actividad hácia este objeto, no han tenido aun suceso alguno. La eficacia de las pilas, sean enteramente secas, sean enteramente húmedas, cuyo descubrimiento se ha publicado es aun equívoca, ó á lo menos tan débil que no se puede esperar que ofrezca jamas una ventaja real á la ciencia.

La presencia de los metales no es necesaria para la formacion de la pila. *M. Davi* construyó un aparato galvánico alternando planchas de estaño con capas de agua y capas de una solucion de potasa; y *Gautherot* ha llegado á formar con discos de carbon y de papel mojado de chisto, una pila cuya eficacia es bien señalada.

Las disoluciones de sulfate de alúmina, de muriate de sosa, y sobre todo de muriate de amoniaco, aumentan mucho la actividad del aparato, porque estas sustancias salinas aumentan mucho, segun *Volta*, la facultad conductriz del agua que las tiene en disolucion.

La presencia del aire al rededor de la pila es necesaria para la produccion de los fenómenos; estos se hacen nulos por la inmersion de la pila en el agua; y sufren bajo la campana neumática una alteracion tanto mayor cuanto mas perfecto sea el vacío.

De la pila secundaria.

1681. *Ritter* ha dado este nombre á una pila que no se electriza por sí misma, sino que recibe la virtud eléctrica cuando se hace comunicar con una pila voltaica.

La pila secundaria no se diferencia, en cuanto á su estructura de la pila voltaica, sino en que en esta los pares metálicos se componen de planchas de diferentes metales, al paso que en la pila secundaria las dos planchas que forman cada par son de un solo y mismo metal. Se coloca esta columna en la inmediacion de una pila eléctrica en actividad y se establece la comunicacion en las estremidades respectivas de los dos polos: algunos minutos despues se quitan con pinzas aisladas las varillas que hacian comunicar las dos pilas, y la esperiencia hace ver que la columna de un solo metal ha adquirido las mismas propiedades que la pila eléctrica, es decir, que produce la ráfaga luminosa, el sabor, las conmociones, la descomposicion del agua etc., pero la pila secundaria no teniendo en sí la facultad electromotriz, disminuye sus efectos poco á poco, los que acaban al fin por desaparecer del todo.

Si se examina el estado eléctrico de cada estremidad de la pila secundaria por medio de un buen conductor, se halla que cada polo goza de la misma electricidad que el de la pila eléctrica con que ha estado en comunicacion; y si se establecen nuevas comunicaciones diferentes de la primera, los efectos son relativos á las variaciones que se ocasionan.

CAPÍTULO III.

TEORÍA DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA.

1682. Entre el grande número de fenómenos de que se compone el galvanismo, algunos entran en la clase de fenómenos ordinarios. Tales son las contracciones que sufre una rana recientemente desollada, cuando se presenta simplemente el nervio al

músculo, ó que se haga comunicar el nervio con el músculo por medio de una sustancia muscular que no pertenezca al animal que sufre las contracciones. Asi esta especie de fenómenos ha hallado lugar entre los que componen el capítulo de la *electricidad animal.*

En cuanto á las contracciones que sufre una rana ó un animal cualquiera, y que para producirse exigen que el arco escitador se componga de dos metales de diferente naturaleza, es claro que el contacto de los metales es el que determina el desarrollo de la electricidad, y que el animal no sirve mas que para recibir su influjo y manifestar su efecto.

1683. Veamos ahora como esplica *Volta* los fenómenos relativos á la electricidad que desarrolla el contacto de dos metales heterogéneos.

Cuando se tiene, dice este físico, por su estremidad cobre una lámina metálica formada de dos metales cobre y zinc soldados por sus estremos, parte de su fluido eléctrico pasa á la lámina opuesta zinc. Pero si este zinc está en contacto inmediato con el condensador que es tambien de cobre, este tiende á descargarse de su fluido con una fuerza igual, y el zinc no puede transmitirle nada: de que resulta que despues del contacto debe hallarse en su estado natural. Pero si se coloca un papel mojado entre el zinc de la lámina y el platillo de cobre del condensador, la facultad motriz de la electricidad que no subsiste sino en el contacto, es destruida entre estos dos metales. El agua que parece gozar en un grado muy débil de esta propiedad, con relacion á las sustancias metálicas, casi nada resiste al paso del fluido del zinc al condensador, y este puede adquirir la electricidad vítrea ó positiva.

En fin si se toca el condensador con la estremidad de la lámina que es de cobre, la interposicion del papel mojado, cuya accion propia es muy débil, no impide al platillo de metal de hacer pasar parte de su electricidad vítrea ó positiva á la lámina de zinc: de que resulta que destruyendo el contacto el condensador debe hallarse cargado de electricidad resinosa ó negativa.

1684. Esta esplicacion está fundada en el ejercicio de una fuerza motriz que determina que parte del fluido eléctrico del cobre pase al zinc. Hagamos estraccion de esta fuerza que no tenemos aun bien conocida; y limitémonos, como se ha hecho esplicando los fenómenos de la electricidad ordinaria, al simple anuncio de los hechos.

Espreso con la unidad la electricidad que desarrolla el contacto de los dos discos aislados, el uno de zinc y el otro de cobre. Esta electricidad igualmente repartida entre ellos da una $\frac{1}{2}$ por la cantidad de fluido de cada disco; y si para distinguir la fraccion que designa la electricidad negativa ó resinosa le damos el signo negativo, el estado eléctrico del zinc será representado por $+\frac{1}{2}$ y el del cobre por $-\frac{1}{2}$. La diferencia de estos dos estados es uno; y esta diferencia es constante, aun cuando por el efecto de estas circunstancias, las cantidades absolutas de fluido varíen en los dos metales.

Hallándose los dos discos en el estado en que los hemos supuesto, hágase comunicar el disco de cobre con los cuerpos inmediatos; este disco tiende al instante á volver á tomar una cantidad de fluido V propio para neutralizar su fluido R: por lo que su nuevo estado es cero. Pero si el zinc cuyo estado era $+\frac{1}{2}$ no esperimentase mutacion alguna, la diferencia entre los estados de los dos discos seria $\frac{1}{2}$, pero se ha visto que debe ser igual á la unidad: luego el zinc debe adquirir á espensas del suelo una nueva cantidad de fluido igual á la que tenia; y en este caso, el estado del cobre siendo siempre cero, el del zinc será la unidad.

Es claro que si se hiciese comunicar el zinc con los cuerpos que le rodean, su estado pasaria á ser cero y el del cobre seria — uno.

Ahora si separamos los discos por medio de un cuerpo embebido de agua, siendo este líquido buen conductor sin ser electromotor, transmite el fluido de un metal á otro, y la reparticion se hace como en los casos ordinarios.

Debemos pues distinguir dos casos de equilibrio, el uno en el contacto, el otro á distancia con la interposicion de una sustancia

húmeda. El 1.° exige una diferencia de estado igual á una constante entre los metales heterogéneos; el 2.° exige, en igualdad de todo lo demas, que el estado eléctrico de los metales sea el mismo.

Sentado esto, si teniendo por su estremidad cobre una lámina metálica formada de dos metales cobre y zinc soldados por uno de sus estremos, el zinc se halla en contacto inmediato con el condensador que es cobre; este no puede cargarse; porque el estado del cobre que se tiene en la mano es cero, y el estado del zinc es uno; pero la diferencia entre el estado del zinc y el del condensador que es cobre debe tambien ser uno: por lo que el estado del condensador debe ser cero, y de consiguiente no puede cargarse.

Pero si coloco una sustancia húmeda entre el zinc de la lámina metálica y el platillo de cobre del condensador, este adquirirá la electricidad vítrea ó positiva; porque el estado del cobre que se tiene en la mano es cero y el estado del zinc es 1; pero el zinc no está separado del platillo de cobre del condensador sino por una sustancia húmeda; por lo que su estado eléctrico debe ser el mismo; y por consiguiente el platillo del condensador debe cargarse de electricidad vítrea ó positiva.

1685. Para esplicar los efectos de la pila eléctrica, supongámosla por ahora aislada y compuesta de un solo par de discos, cobre y zinc. El estado del cobre es $\frac{1}{2}$ y el del zinc $\frac{1}{2}$. Pongamos entre tanto encima del disco superior que es zinc un conductor húmedo, y coloquemos sobre el conductor húmedo un disco de cobre: el estado eléctrico de este último debe ser el mismo que el del zinc del que está separado por una sustancia húmeda, y para esto bastaria que el fluido del zinc que es $+\frac{1}{2}$ se repartiese de modo que el estado del zinc pasase á ser $\frac{1}{4}$ y el del cobre superior $\frac{1}{4}$. Pero el estado del disco de cobre inferior siendo $\frac{1}{2}$, es claro que la diferencia entre los estados de los dos primeros discos no seria igual á uno, sino solamente $\frac{3}{4}$; debe pues restablecerse entre los tres discos una nueva distribucion de fluido, en virtud de la que el estado del disco de cobre inferior será $\frac{2}{3}$, el

del zinc $+\frac{1}{3}$, el del cobre superior $+\frac{1}{3}$. Si añadimos un cuarto disco que será de zinc, deberá tener una unidad mas que el disco sobre el que descansa; lo que exige una nueva distribucion de fluido, de modo que se tendrá -1 para el disco de cobre que está colocado sobre el aislador, cero para el disco que sigue que es de zinc, cero para el tercer disco que es de cobre, y uno para el cuarto que es zinc.

El mismo raciocinio conduce á determinar los estados eléctricos de diferentes partes de una pila, cualquiera que sea el número de discos de que se componga. La calidades de electricidad vitrea ó positiva, y las de la electricidad resinosa ó negativa, formarán dos progresiones aritméticas, en cada una de las cuales la diferencia entre dos términos consecutivos da la unidad.

Si el número de discos es par, se obtiene el estado del primero, es decir del que toca inmediatamente al aislador, dividiendo el número por 4, y dando al cociente un signo negativo. Supongamos que la pila está compuesta de 24 discos; el estado del primero es -6; lo que da sucesivamente para los diferentes pares $-6-5, -5-4, -4-3, -3-2, -2-1-1-0, 0+1, 1+2, 2+3, 3+4, 4+5, 5+6$. En este caso la suma de las dos progresiones es siempre cero; el disco inferior que es cobre y el disco superior zinc se hallan siempre en dos estados iguales y opuestos de electricidad; y sucede lo mismo en cualesquiera otros dos discos tomados á igual distancia de las estremidades. Ademas la accion es nula antes del paso de la electricidad resinosa ó negativa á la electricidad vitrea ó positiva, de modo que los dos discos que se hallan en medio de la pila se hallan en su estado natural.

Cuando el número de discos es impar, se obtiene el estado del primero, añadiendo al 4 de este número tomado con el signo negativo, la unidad dividida por cuatro veces el mismo número. Supongamos que el número de discos es 15, el estado del primero es $-\frac{15}{4}+\frac{1}{60}=\frac{56}{15}$. Asi se tendrá sucesivamente para los diferentes pares $-\frac{56}{15}, -\frac{41}{15}, -\frac{41}{15}-\frac{26}{15}, -\frac{26}{15}-\frac{11}{15}, -\frac{11}{15}+\frac{4}{15}, +\frac{4}{15}+\frac{19}{15}, +\frac{19}{15}+\frac{34}{15}, +\frac{34}{15}+\frac{49}{15}, +\frac{49}{15}$. En todos los casos

de esta especie la suma total es tambien cero. Supongamos ahora que la estremidad inferior de la pila comunique con el depósito comun: en esta hipótesis el primer disco que es cobre, cuyo estado era $\frac{1}{2}$ cuando la pila estaba aislada, toma al suelo lo que le falta de fluido para pasar al estado natural y su estado resulta cero. El estado del 2.º disco que es zinc es 1; el estado del 3.º disco cobre que está separado del 2.º por un conductor húmedo es 1; el estado del 4.º disco zinc que está en contacto inmediato con el 3.º resulta 2; el estado del 5.º disco cobre separado del precedente por una sustancia húmeda es 2; el estado del 6.º que es zinc resulta 3 etc. Asi se tendrá sucesivamente en los diferentes discos de que se compone una pila no aislada, 0, 1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, etc.; de que se sigue que los estados de cada especie de metal forman una progresion aritmética cuyo primer término es cero para el cobre y la unidad para el zinc, y en la que la diferencia entre los dos términos consecutivos es siempre la unidad.

Segun lo que se ha dicho hasta aqui, es claro, 1.º que los aumentos de densidad eléctrica que tiene sucesivamente lugar en los diferentes discos yendo del medio á las estremidades en una pila aislada, dependen de la fuerza conductriz de la sustancia húmeda que separa cada par de discos; porque si una pila no aislada estuviese únicamente compuesta de discos de cobre y de zinc, empezando por el primero, los estados eléctricos de estos diversos elementos serian representados por esta serie $0+1$, $0+1$, etc.; y en este caso de aislamiento de la pila la serie seria $-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$, $-1\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$ etc.

2.º Cuanto mas buen conductor es la sustancia húmeda que separa los pares, tanta mas energía y virtud debe tener la pila; de aqui viene que el agua pura es menos propia que el agua que tiene en disolucion una sustancia salina para el desarrollo de la electricidad.

Comparemos ahora la pila aislada con la que no lo está, relativamente á los efectos para cargar el condensador. Si se hace comunicar el estremo superior de una pila aislada con el platillo

del condensador, este tomará de la pila una parte de su electricidad, y determinará asi una variacion en las cantidades de fluido en los diferentes discos, hasta tanto que el equilibrio esté restablecido; pero es claro que el aislamiento de la pila limita la carga del condensador. Al contrario si la pila comunica por su base con los cuerpos inmediatos, vuelve á tomar del suelo tanto fluido como cede el condensador; de modo que la densidad eléctrica del disco superior queda la misma, mientras que el condensador recibe sucesivamente una cantidad de fluido proporcional á su capacidad y á su poder condensante: de que se sigue que la carga del condensador debe ser mas fuerte en igualdad de circunstancias, cuando la pila no está aislada, que en el caso de aislamiento.

1686. *Van-Marum* observó que una pila aislada produce efectos mas sensibles que una pila no aislada, y que en el primer caso las conmociones particularmente eran muy fuertes.

Para juzgar acerca el motivo de esta diferencia, consideremos la pila unas veces aislada y otras no aislada. En el segundo caso, cuando tocando con una mano el disco superior de la pila, se pone la otra en el disco inferior, la pila se descarga por la estremidad superior del fluido superabundante de sus diferentes discos; pero al mismo tiempo repara sus pérdidas á espensas del suelo, y se establece una corriente eléctrica sin interrupcion, que se reparte entre el suelo y los órganos, escitando en estos una impresion mas ó menos viva segun las circunstancias.

En la hipótesis del aislamiento de la pila su mitad superior se halla en el estado vitreo ó positivo, y su mitad inferior en el estado resinoso ó negativo. Esta toma á espensas de los órganos el fluido V que le falta para volver al mismo estado en que se hallaba antes de aislarse; y en este caso la circulacion se establece al traves de los órganos, como en el caso en que la pila no estaba aislada; pero como los órganos son conductores menos perfectos que el suelo, se sigue que una pila aislada se va recargando con menos rapidez que cuando no está aislada; y bajo este respecto la conmocion debe ser menos viva. Pero por otra parte el movi-

miento del fluido es mas rápido en el primer instante cuando la pila es aislada. Ademas la accion de la descarga es mas concentrada, pues que su efecto no se reparte entre el suelo y los órganos, como en la pila no aislada.

1687. Estableciendo la ley relativa á los diferentes estados de los discos que se suceden en la pila voltaica, se ha supuesto 1.° que el esceso de la electricidad del zinc sobre el cobre es constante para estos dos metales, sea que se hallen ó no en el estado natural; 2.° que el agua es un conductor perfecto, lo que no es asi aun cuando este líquido tenga sustancias salinas en disolucion; 3.° que el agua absolutamente no goza de facultad alguna electromotriz cuando se halla en contacto con sustancias metálicas; lo que no parece probable. Es menester pues tentar nuevos esperimentos que nos pongan en estado de apreciar con exactitud la influencia del agua y de las sustancias salinas sobre los fenómenos de la pila. Los resultados que se obtendrán modificarán sin duda la ley que se ha espuesto de modo que la aproximarán á la ley de la naturaleza.

CAPÍTULO IV.

DEL INFLUJO DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA SOBRE LOS FENÓMENOS QUÍMICOS.

1688. *Primer esperimento.* En un tubo lleno de agua y cerrado herméticamente se introducen por una y otra parte hilos del mismo metal; y despues de haberlos fijado á una distancia de 12 milímetros (cerca 5 líneas) se ponen en contacto cada uno con una de las estremidades de la pila. El que toca en la estremidad que corresponde al zinc, se cubre de ampollas de gas hidrógeno, al paso que el que está en contacto con la estremidad que corresponde á la plata, se oxida si es oxidable ó se cubre de ampollas de gas oxígeno si no lo es. Estos efectos son tanto menos sensibles cuanto el diámetro del tubo es mas pequeño, segun una observacion de *Gautheroth*, que la esperiencia ha confirmado.

M. Kruikshank observó que en este esperimento el agua que

rodea el hilo positivo se vuelve un poco ácida al paso que la que toca al hilo negativo se halla impregnada de un poco de álcali.

Los gases cuyas bases constituyen el agua, pueden ser producidos separadamente de dos cantidades diferentes de agua que no esten en contacto inmediato. Este importante hecho que *M. Davi* nos ha dado á conocer, se hace sensible por el siguiente esperimento.

Segundo esperimento. Dos tubos de vidrio de cerca 7 milímetros ($\frac{1}{8}$ de pulgada) de diámetro y de cerca 108 milímetros (4 pulgadas) de longitud, estan armados cada uno con un hilo metálico del que una parte entra en el tubo, y la otra está fuera del tubo, el que está cerrado herméticamente por esta estremidad. Se llenan por el otro estremo, por el que estan abiertos, de agua destilada; y despues de haberlos sumerjido en vasos separados llenos del mismo líquido, se hacen comunicar los líquidos contenidos en estos vasos por medio de un buen conductor. Se ponen despues los hilos metálicos que salen de las estremidades cerradas de los tubos en contacto el uno con el polo positivo, el otro con el polo negativo de la pila, y se halla al fin del esperimento gas oxígeno en el tubo positivo y gas hidrógeno en el tubo negativo.

Estos dos gases provienen necesariamente de la misma cantidad de agua contenida en el tubo positivo ó en el tubo negativo. En el primer caso el gas hidrógeno que se halla despues del esperimento en el tubo negativo debe haber pasado en forma invisible del tubo positivo al negativo, por medio del cuerpo conductor que establece la comunicacion entre los dos vasos. En el 2.º es el oxígeno el que debe haber sido transmitido de un modo invisible desde el tubo negativo al positivo.

Este esperimento demuestra el transporte de los elementos de una combinacion á una distancia considerable al traves de sustancias conductrices, y bajo una forma que se escapa enteramente de la actividad de nuestros sentidos.

Una pila compuesta de 50 pares de planchas, cada una de cerca 50 milímetros cuadrados, basta para separar los elementos

del agua. Compuestos químicos tales como los álcalis y las tierras exigen aparatos mucho mas poderosos. *M. Davi* no ha podido descomponer la potasa sino con un aparato de 100 pares de planchas, cada una de 150 milímetros cuadrados; y para efectuar la separacion de los principios de la sílice ha sido menester un aparato de 500 pares de planchas, cada una de 150 milímetros. Véase lo que se ha dicho tratando de los álcalis y de las tierras.

1689. *MM. Berzelius é Hisinger* habian observado que cuando se galvaniza agua no solo se separan sus principios elementales, sino tambien los de las sustancias que estan en ella disueltas, de modo que los cuerpos inflamables, los álcalis y las tierras pasan al polo negativo, y el oxígeno, los ácidos y los óxides se van al polo positivo.

Esta importante observacion es la que produjo en *M. Davi* la idea de sujetar los álcalis y las tierras al influjo de la electricidad galvánica; cuyo suceso se ha visto, hablando de estas sustancias, que fue el mas completo en recompensa de sus esfuerzos. *M. Davi* sujetó á las mismas tentativas el sulfate de potasa. La descomposicion fue completa, todo el ácido sulfúrico pasó al polo positivo y la potasa al polo negativo. El sulfate de barita, el fluate de cal y diversas sales metálicas fueron descompuestas por el mismo medio, y siempre los fluidos fueron transportados al polo positivo; las tierras y los metales pasaron al polo negativo.

Estos hechos facilitaron la esplicacion de un fenómeno sobre la que los físicos habian en vano cansado su sagacidad. Tratábase de saber porque la electricidad galvánica sobre el agua hace parecer álcali en el polo negativo y ácido en el polo positivo. *M. Davi* se aseguró que el agua destilada con todo el cuidado posible contiene siempre sales neutras en disolucion. El álcali y el ácido de estas sustancias son separados por la accion galvánica, y de aqui es sin duda que provienen el ácido muriático, y el álcali que varios sabios han obtenido galvanizando el agua que miraban como despojada de todo cuerpo capaz de alterar su homogeneidad.

1690. Mientras se descomponia el agua y las diferentes sustancias que puede disolver por la accion de la pila voltaica,

M. Wollaston efectuaba la misma descomposicion con nuestros aparatos ordinarios, y establecia asi la identidad de los fluidos que animan el aparato galvánico y nuestras máquinas eléctricas. Este célebre físico se sirvió para estas descomposiciones de un hilo de oro estremamente delgado, el que al fin se ha tomado por medio de comunicacion de la electricidad al traves del agua; y resulta que la simple corriente de la electricidad hizo parecer una serie de pequeñas ampollas en la estremidad del hilo de oro, aunque la otra estremidad por la que el hilo comunicaba con el conductor positivo ó negativo de la máquina estuviese en contacto perfecto con el conductor. Para dar al hilo de oro una estrema tenuidad, *Wollaston* introdujo en un tubo capilar una disolucion de oro en el ácido nitro-muriático; se evaporó el ácido por medio del calor, y quedó una capa de oro muy delgada que cubria el interior del tubo, la que cuando se calentó el tubo hasta á reblandecerse se hizo un hilo de oro estremamente fino en medio de la sustancia del vidrio.

Wollaston imitó asi la apariencia de dos corrientes de aire, haciendo pasar la electricidad por puntas muy finas de comunicacion por el agua. Pero en el hecho, la similitud no es del todo perfecta; porque en todas las disposiciones imaginadas observó siempre que cada uno de los dos hilos daba á un tiempo el oxígeno y el hidrógeno, en lugar de producirlos separadamente cada uno como lo hace la pila voltaica. *Van-Marum* obtuvo el mismo resultado que *Wollaston*; haciendo pasar una fuerte descarga eléctrica al traves de un hilo de hierro sumerjido en agua.

La oxidacion de las superficies metálicas en contacto con los conductores húmedos, es un fenómeno químico que se manifiesta en todas las pilas construidas del modo ordinario. *Volta* la mira como un efecto que restablece un contacto mas estrecho entre los elementos de la pila, y contribuye asi á dar á su accion mayor permanencia y energía. *Wollaston* piensa que la oxidacion tiene un grande influjo sobre la electricidad, sea en la pila, sea en nuestras máquinas comunes.

,, Empleando, dice *Wollaston*, en nuestros aparatos ordina-

rios una amalgama de plata ó de platina, metales que nó son oxidables, no se obtiene señal alguna de electricidad, la que se manifiesta siempre cuando la amalgama se compone de metales oxidables, tales como el estaño, el zinc ó el mercurio."

Para apoyar su opinion, *Wollaston* hizo montar un pequeño cilindro con su almohadilla y conductor en un vaso en que pudo á voluntad mudar el aire que encerraba. Despues de haber examinado el grado de escitacion en el aire comun, le sustituyó ácido carbónico y observó que la escitacion quedó enteramente destruida, la que volvió á parecer desde el instante que volvió á entrar en el aire atmosférico.

Estos resultados estan consignados mas estensamente en la biblioteca británica núm. 138, pág. 32 y siguientes.

Wollaston prueba en la misma memoria que la electricidad positiva oxida y que la negativa desoxida. Basta para convencerse de esto hacer pasar á lo largo de la superficie de un papel colorado por una fuerte infusion de tornasol, una corriente de chispas eléctricas, por medio de dos finas puntas de oro que toquen esta superficie á la distancia de 27 milímetros (1 pulgada) el uno del otro. Basta un pequeño número de vueltas de la máquina para producir en la punta del hilo, por la parte positiva una mancha roja que se distingue á simple vista. Si se pone sobre esta mancha la estremidad del hilo negativo, la accion de la máquina le vuelve su color azul primitivo.

1691. *M. Wilkinson* se ha ocupado en medir los efectos de la pila, por la longitud del hilo de acero que puede quemar en cada contacto, variando solo la superficie de los discos ó su número y halló que la longitud de los hilos que pueden ser quemados por dos pilas formadas de discos iguales en número y desiguales en superficie, es como el cubo de estas superficies.

M. Thenard y Gay-Lussach se han servido de otro método para llegar al mismo fin. Han tomado por medida comparativa de los efectos la cantidad de gas que se separa del agua en cada circunstancia; y han hallado que esta cantidad que es casi nula, cuando el líquido es agua pura, y recientemente hervida, varía

según la naturaleza del líquido, y proporcionalmente á las superficies de los discos de las dos pilas iguales en número.

CAPÍTULO V.

APLICACION MÉDICA DE LA ELECTRICIDAD GALVÁNICA.

1692. En la época de la aplicacion del galvanismo, muchos físicos se apresuraron á aplicarlo al cuerpo humano en enfermedades que resisten á la eficacia de los remedios comunes; luego despues se han publicado por todas partes curaciones maravillosas efectuadas por este medio, en las que el entusiasmo tiene probablemente tanta parte como la causa á que se atribuye. Entre los numerosos hechos que han adquirido publicidad, los siguientes me parecen deber fijar un instante nuestra atencion.

1.° *Psaff* pretende haber tratado con buen suceso una emiplegia poniendo un disco de plata en la boca y otro de zinc sobre el brazo paraliticado, despues de 24 horas de comunicacion sin interrupcion el miembro hacia ya algunos ligeros movimientos.

2.° *Hallé* sujetó á la fuerza del galvanismo un hombre en quien todos los músculos de la cara del lado izquierdo estaban paraliticados, de resultas de una fluxion determinada por la accion del frio. Desde el momento que diferentes puntos de la mejilla enferma comunicaron con las estremidades de la pila por medio de escitadores metálicos, todos los músculos de la cara entraron en contraccion. El enfermo sintió dolor y una sensacion de calor muy desagradable; el ojo se puso en convulsion, cayeron involuntariamente lágrimas, y se manifestó dolor é hinchazon en los diferentes puntos tocados. Conviene observar que esta enfermedad habia ya resistido á la influencia de las chispas y de las conmociones eléctricas.

3.° *Creve* propone el galvanismo como un medio para distinguir la muerte aparente de la verdadera. En el primer caso las fibras musculares se contraen con facilidad por la accion galvánica, en el segundo no pueden dar la mas ligera contraccion, porque la irritabilidad está enteramente destruida.

4.° En fin el *Dr. Grapengiesser* piensa por razon de esperimentos propios, que la electricidad galvánica puede aplicarse con suceso: 1.° en la parálisis, ya procedan de debilidad de la accion nerviosa, ya sea que reconozcan por causa la compresion del cérebro ó una afeccion reumática; 2.° en la debilidad de la vista y la gota serena debidas únicamente á la falta de escitabilidad del nervio óptico; 3.° en las sorderas que dependen de la debilidad nerviosa; 4.° en la ronquera y afonia que consisten en falta de accion nerviosa; 5.° en fin en ciertos dolores esciáticos crónicos, en los tumores blancos de las articulaciones, en las páperas. *Grapengiesser* pretende aun haber empleado con suceso la electricidad galvánica en un caso de metastasis con inflamacion en la articulacion del codo y en la del muslo.

1693. Estos son los principales hechos conocidos, de los que no salgo fiador. El confirmar ó destruir su existencia por medio de repetidos esperimentos toca á los físicos que consagran su vida al alivio de la humanidad doliente; pero para trabajar con buen éxito conviene estar prevenido contra el escollo del entusiasmo, el que acompaña siempre los descubrimientos nacientes. Acordémonos de lo que sucedió en la época en que la electricidad se aplicó por primera vez á la economía animal. En la *Europa sabia* no tardó en sentirse el eco de un grande número de curaciones miraculosas de que la Italia acababa de ser el teatro; pero estos brillantes sucesos se desvanecieron luego junto con el entusiasmo que les habia dado orígen; y nadie ignora que el influjo de la electricidad reducido á su justo valor se limita en el dia á ofrecer un remedio útil para los reumatismos, las parálisis, y en general para las enfermedades que reconocen por causa la detencion de los humores y el entorpecimiento de las partes.

LIBRO DÉCIMOTERCIO.

DEL MAGNETISMO.

CAPÍTULO PRIMERO.

DEL IMAN NATURAL.

1694. El iman tal como nos lo ofrece la naturaleza, es una mina de hierro muy pesado que tiene por lo comun un color gris que tira á negro. Las minas de iman mas conocidas se hallan en la Siberia, en Suecia y en la isla del Elva. El iman nos viene tambien de las Indias y hasta aqui parece ser el que ha obtenido la preferencia.

El iman sin duda ha sacado su nombre del lugar en que fue por primera vez descubierto. Habia en el Asia menor dos ciudades nombradas Magnesia, la una situada cerca de *Meandro*, la otra estaba debajo del monte *Sipilo*: esta última que pertenecia particularmente á la Lidia, y que se llamaba tambien Heraclea, era la verdadera patria del iman. El monte *Sipilo* era sin duda fecundo en metales, y de consiguiente en iman. Asi el iman llamado *magnes* por el lugar de su descubrimiento ha conservado su nombre.

Se hallan en los estremos opuestos de un iman cualquiera dos puntos en que se concentra la fuerza magnética, á los que se les ha dado el nombre de *polos*, porque un iman vuelve siempre estos dos puntos hácia á los polos del mundo. El que se dirige hácia al norte estaba generalmente conocido en Francia con el nombre de *polo boreal* y el otro con el nombre de *polo austral*. Aho-

ra prefiero llamar polo austral al 1.° y polo boreal al 2.° por razones que pronto se espondrán.

1695. Puédense emplear diferentes medios para determinar los polos de un iman. El 1.° consiste en revolverle por encima limaduras de hierro; todas las moléculas de estas limaduras que se pegan al iman, se dirigen hácia el uno ó al otro de estos polos, y las que estan inmediatamente encima de estos puntos estan herizadas perpendicularmente encima el iman; en fin las limaduras son atraidas con mayor fuerza y en mayor cantidad hácia estos puntos que hácia cualquier otro; 2.° se coloca el iman encima un pedazo de cristal pulido debajo el que se ha puesto una hoja de papel blanco; se esparcen poco á poco sobre este vidrio limaduras de hierro al rededor del iman, y se dan suaves golpes en el borde del cristal para dar mayor movilidad á las limaduras de hierro; al instante se ve que se arreglan en líneas rectas hácia á los polos, y en líneas curvas hácia el ecuador, de modo que los polos son los puntos en que todas estas líneas rectas y curvas parecen terminar.

Se llama *eje del iman* la recta que une sus dos polos; el *ecuador del iman* está en el plano perpendicular que divide su eje en dos partes iguales, y su *meridiano* se halla en un plano que pasa por sus dos polos.

1696. En la época del descubrimiento del iman, los físicos se ocuparon en el estudio de sus propiedades. La primera que fijó su atencion fue la poderosa atraccion que el iman ejerce sobre el hierro. Segun *Plinio* fue un pastor el primero á quien se manifestó. Caminando por encima una peña sintió que los clavos de sus zapatos y el hierro de su cayado se pegaban con el iman; otros pretenden que habiendo fijado en la tierra su baston armado de una punta de hierro le costó trabajo el sacarlo, y que curioso de conocer el obstáculo que hallaba, escarbó al rededor del palo, y halló su punta pegada en un escelente iman.

1697. Los polos de un iman presentan un fenómeno singular, el que escitó de tal manera la admiracion de los antiguos que no se detuvieron en concederle las prerogativas de seres animados.

Este fenómeno consiste en que los polos semejantes ó del mismo nombre manifiestan el uno para el otro una especie de antipatia la que produce la repulsion, al paso que los polos de diferente nombre manifiestan una especie de propension á dirigirse el uno hácia al otro, cuando algun obstáculo no les detiene.

Primer esperimento. Se colocan dos agujas magnetizadas cada una encima de un eje, de modo que tengan libre movimiento; si se presentan mutuamente los polos del mismo nombre se repelen, pero si se presentan los polos de diferente nombre se atraen.

Segundo esperimento. Se preparan dos láminas de acero de modo que aplicadas la una sobre la otra no se toquen sino por algunos puntos á fin de que puedan moverse la una encima la otra; se da á sus estremidades una figura diferente á fin de poderlas distinguir fácilmente. Se magnetizan estas láminas por medios que pronto se indicarán, y se colocan despues la una hácia la otra de modo que los polos del mismo nombre se correspondan; la lámina de encima abandonada á sí misma no tarda á moverse, gira sobre su propio centro como sobre un punto de apoyo, y no queda en reposo sino cuando sus dos polos corresponden á los polos contrarios de la lámina que está debajo.

Tercer esperimento. Suspéndase en uno de los brazos de una balanza un iman, de modo que sus dos polos correspondan á la misma línea vertical, y póngase en equilibrio con un suficiente contrapeso; preséntese á una cierta distancia del polo inferior el polo contrario de una barra magnetizada, el equilibrio se destruye inmediatamente en favor del iman el que es llevado con fuerza hácia la barra. Si despues de haber restablecido el equilibrio se presenta al polo del iman el polo semejante de la barra magnetizada, el equilibrio es destruido en favor del contrapeso; lo que manifiesta la repulsion recíproca de dos polos del mismo nombre.

Lo que se acaba de decir basta sin duda para justificar la denominacion de *boreal* que damos al polo de un iman que está vuelto hácia al polo austral de la tierra, y la de *austral* que damos al polo que mira su polo boreal.

Esta propiedad de que gozan los polos de los imanes de atraer

ó de repeler segun son contrarios ó semejantes, ha dado lugar á la invencion de muchas máquinas ingeniosas, tales como la caja de las flores, el anteojo magnético, etc. etc., cuya descripcion no pertenece á una obra destinada al estudio de la física.

1698. La propiedad que tiene un iman cualquiera de volver una de sus estremidades hácia al norte y la otra hácia al mediodia, sufre un grande número de restricciones; si se lleva el iman á diferentes puntos del globo, en muchos su direccion coincide exactamente con una línea tirada desde el mediodia al norte ó con el meridiano del lugar; pero en otros puntos se separa mas ó menos de esta línea, unas veces es hácia al oriente otras hácia al occidente, y su marcha varía segun los lugares. Este desvío lleva el nombre de *declinacion*, esta se mide por el ángulo que hace el meridiano del lugar con el meridiano magnético.

Si se sale de un lugar en que la declinacion es nula, y se marcha hácia al norte ó hacia al mediodia, puede suceder que se pase por una serie de puntos en que la declinacion sea tambien nula; pero estos puntos no se hallarán en un mismo meridiano, sino que forman una curva irregular que tiene inflexiones en diferentes sentidos.

Alley ha delineado sobre un mapa mundi esta serie de puntos en que la declinacion es nula á las que las llama *zonas sin declinacion*, estas han sido seguidas por los navegantes hasta á latitudes mas ó menos considerables. La declinacion varía tambien en un mismo lugar segun los tiempos, y estas variaciones no aumentan en la misma razon que los tiempos, de modo que las *zonas sin declinacion* varían continuamente de posicion y de figura. En 1666 la declinacion era nula en Paris, pero en 1804 era de 22 grados 15 minutos hácia al oeste, de modo que aumenta como 9 ó 10 minutos por año.

1699. La aguja magnetizada sufre aun variacion diurna particular que *Casini* ha observado con cuidado. El resultado de sus observaciones ha dado á conocer que en Paris la direccion de la aguja se aproxima un poco al meridiano algo despues de las ocho de la mañana hasta las dos de la tarde, y se aparta des-

pues hasta cerca las nueve de la noche, despues de lo que queda estacionaria hasta el dia siguiente. Hace tambien ligeras oscilaciones, cuya marcha es tal que la suma de los movimientos que se efectuan hácia al oeste, es superior á la de los que se efectuan en sentido contrario, de modo que la declinacion va aumentando por el mismo lado.

1700. Si una aguja atravesada por un eje en el que esté sostenida tenia antes de estar magnetizada una situacion horizontal, desde el momento que recibe la virtud magnética toma una posicion mas ó menos oblicua al horizonte, esceptuados ciertos puntos del globo. Este segundo desvío que sufre un iman cualquiera tiene el nombre de *inclinacion*. Esta está tambien sujeta á variaciones que se manifiestan sobre todo de un modo muy sensible cuando se varía de latitud; en el ecuador la inclinacion es casi nula, de modo que todos los puntos en que la aguja está exactamente paralela al horizonte forman una curva irregular que corta al ecuador bajo ángulos muy pequeños; pero á medida que se marcha del ecuador hácia uno y otro polo, la inclinacion va aumentando de modo que la estremidad de la aguja que mira al polo inmediato baja continuamente con respecto á su primera posicion. Esta variacion no sigue la razon de las latitudes. La inclinacion era en Paris de cerca 71 grados en 1792; segun la determinacion de *Coulomb* era de 70 grados 5 minutos en 1804, y en 1809 era en el observatorio de Paris de 68 grados 47 minutos y $\frac{1}{2}$, por lo que parece que la inclinacion de la aguja magnética va disminuyendo.

1701. Cuando se frota una varilla de hierro ó de acero con los polos ó los pies de la armadura de un iman, esta vara adquiere la virtud magnética y todas las propiedades que caracterizan el iman. En el primer contacto del hierro el magnetismo se comunica; pero un contacto reiterado aumenta mucho su energía, con tal que la frotacion de la barra contra el iman se repita en el mismo sentido.

Un iman nada pierde de su fuerza cualquiera que sea el número de barras de hierro ó acero á las que comunique la virtud

magnética; pero puede alterarse con el transcurso del tiempo por violentos sacudimientos, por oxidarse las armaduras, por la vecindad de otro iman etc. etc.

Los imanes mas vigorosos, es decir que elevan el mayor peso, no son siempre los mas generosos, es decir, que comunican algunas veces al hierro y al acero menos fuerza magnética que otros que son mas débiles.

La esperiencia ha hecho ver 1.° que el hierro frotado sobre uno de los polos del iman adquiere mucha mas fuerza magnética que frotado sobre cualquiera otra de sus partes.

2.° La virtud que este polo comunica al hièrro es mucho mayor cuando está armado que sin armar.

3.° Cuanto mas lentamente se pasa el hierro, y mas comprime contra el polo del iman, recibe mayor virtud magnética.

4.° Es mas ventajoso magnetizar el hierro por un solo polo del iman que sucesivamente por los dos, porque el hierro recibe de cada polo la virtud magnética en direcciones opuestas, por lo que sus efectos se destruyen.

5.° Mucho mejor se magnetiza un pedazo de hierro pasándole uniformemente y en la misma direccion sobre el polo del iman segun su longitud, que frotándole simplemente por su medio, y se nota que la estremidad que toca últimamente al polo conserva la mayor fuerza.

6.° Un pedazo de acero pulido ó bien un pedazo de hierro acerado reciben mayor virtud magnética que un pedazo de hierro simple y de la misma figura, y en igualdad de circunstancias se magnetiza mas fuertemente un pedazo de hierro largo, delgado y puntiagudo que otro de figura del todo diferente; asi una hoja de sable, de espada ó de cuchillo reciben mucha mayor virtud que una barra cuadrada de acero de la misma masa que no tiene otra punta que sus ángulos.

7.° La propiedad que tiene el hierro de recibir la polarizacion no es una propiedad esclusiva; *Coulomb* ha probado con exactos esperimentos que todos los cuerpos de la naturaleza la tienen aunque no con igualdad.

1702. La virtud magnética no sufre disminucion alguna apreciable desde la superficie de la tierra hasta á 4000 metros (2100 toesas) de altura; su accion en estos límites se manifiesta constantemente por los mismos efectos y segun las mismas leyes. *M. Humbold* ha hecho multiplicadas observaciones sobre las variaciones de la virtud magnética en diferentes latitudes, las que le han conducido al siguiente resultado.

La intensidad de las fuerzas magnéticas varía en diferentes latitudes; *su minimum* está en el ecuador, y aumenta marchando hácia á los polos. Esta intensidad se mide por el número de oscilaciones que hace la aguja magnetizada en un cierto tiempo.

Una escelente brújula hacia en 10 minutos,

En Paris. . . . . 245 oscilaciones.
En el Perú, de 7 á 5 grados latitud austral. 211.
En el Perú á 2 grados 13 minutos de latitud austral, á 3 grados 15 minutos latitud boreal. 217.
Desde los 4 grados 36 minutos á 8 grados 56 minutos latitud boreal. . . . . 224.
Desde 9 grados 15 minutos á 23 grados latitud boreal. . . . . 237.

Estas oscilaciones de la aguja son despues modificadas por la accion de las montañas. *M. Humbold* ha observado que en el volcan de Artisena, á 2467 toesas (cerca 420 metros) de elevacion, la brújula hacia en 10 minutos 230 oscilaciones, al paso que en Quito el número de oscilaciones no era mas que de 218. En otras ocasiones el número de oscilaciones era menor en las montañas que en la llanura.

CAPÍTULO II.

DEL IMAN ARTIFICIAL.

1703. Se da el nombre de *iman artificial* á unas planchas de acero que tienen las propiedades de los imanes naturales.

1704. Se reunen muy á menudo varias de estas láminas para formar de ellas un manojo. En este caso todas deben ser bien templadas, pulidas y bien calibradas de modo que sean todas

iguales en longitud, latitud y espesor. Se magnetiza cada lámina separadamente sobre el polo de un escelente iman bien armado. Se prepara una armadura que pueda contenerlas todas aplicadas las unas encima las otras, y que las cierre y abrace por medio de botones puestos en sus estremidades. El espesor de las abrazaderas como el de los botones debe ser tanto mayor cuanto mayor número haya de barras reunidas. Desde el momento que estas láminas estan dispuestas las unas encima las otras entre dos abrazaderas, de modo que los polos del mismo nombre esten en el mismo lado, se sujetan en esta situacion por medio de tornillos, y se tiene asi un iman artificial que es preferible á muchos imanes naturales.

1705. Esta reunion de planchas no forma por esto los mejores imanes artificiales: se hacen otros mas perfectos que no se componen mas que de una sola barra de acero. Entre los varios procederes que se han imaginado para comunicar á estas barras una virtud magnética considerable, me limitaré en esponer el del doble contacto inventado por *Michell*, modificado por *OEpinus* y perfeccionado por *Coulomb*.

Este consiste en levantar verticalmente á alguna distancia la una de la otra dos barras fuertemente magnetizadas, de modo que sus polos contrarios se correspondan, y en hacerlas resbalar en esta situacion desde un estremo al otro de la barra que se quiere magnetizar, de modo que vayan y vengan alternativamente sin permitirles jamas que pasen de las estremidades de esta barra. Cuando despues de un cierto número de fricciones, las barras se encuentran en medio de la que se magnetiza, se quitan segun sus direcciones perpendiculares á esta.

1706. *OEpinus* emplea este medio ventajosamente modificado; inclina las barras en sentido contrario de modo que cada una de ellas hace un ángulo de 15 á 20 grados con la barra que recibe el magnetismo. Este modo de operar presenta la doble ventaja: 1.º los centros de accion de los polos que estan elevados una cierta cantidad encima la superficie de la barra, cuando las dos tienen una posicion vertical, se hallan mucho mas cerca de ella, lo

que hace su accion mas eficaz; 2.° siendo el intervalo entre los centros de accion considerablemente aumentado, con motivo del ángulo muy abierto que las barras hacen entre sí, esta circunstancia ensanchando los límites que estrechaban el efecto de las fuerzas conspirantes, aumenta su actividad.

1707. *Coulomb* procede como *OEpinus* en cuanto á la disposicion de las barras, pero las mueve de otro modo. Despues de haberlas colocado sobre el medio de la barra que debe recibir la virtud magnética, las tira en sentido contrario la una con respecto á la otra hasta una pequeña distancia de la estremidad mas inmediata; vuelve otra vez á empezar saliendo siempre del mismo punto del medio. Este proceder es mucho mas eficaz.

1708. Para tener dos barras fuertemente magnetizadas es menester tomar cuatro iguales y semejantes de las que dos á lo menos han de tener un principio de virtud magnética. Llamemos á estas últimas A y B y designemos las otras por C,D. Estas estan dispuestas paralelas entre sí entre otras dos barras de hierro dulce, que se llaman *contactos*, y que son mucho mas cortas, pero del mismo espesor; y esto de modo que si las barras C,D tienen en sí un cierto grado de magnetismo, sus polos contrarios deben corresponderse. Se colocan las barras A y B sobre el medio de una de las primeras, tal como C, inclinadas en sentido contrario como se ha dicho. Si la barra A es la mas inmediata, por ejemplo del polo boreal de C, su polo inferior debe ser el polo austral, y entonces el polo inferior de la barra B que es tambien el mas inmediato al polo austral de C, será el polo boreal. Despues de todos estos preparativos se hacen resbalar varias veces cada una de las barras A,B, sobre la mitad correspondiente de la barra C, segun el método de *Coulomb*: se muda en seguida la cara de la barra C, sin mudar la disposicion de sus polos, y se repite la misma operacion sobre la otra cara. Se hacen iguales frotaciones sobre la barra D, cuidando de trastornar el órden de los polos de las barras A,B; porque los de la barra D estan colocados en sentido contrario de los polos de la barra C. Acabada esta operacion se sustituyen las barras A,B á las barras C.D, y

sirven estas últimas para dar á la virtud magnética de las otras mayor fuerza y energía. Cuando se juzga que la comunicacion del magnetismo ha llegado á su término, sirven las barras que han recibido las últimas frotaciones para magnetizar agujas ú otros cuerpos de esta especie.

1709. Para conservar la virtud magnética que se ha comunicado á un pedazo de hierro ó de acero, es menester 1.º guardarle de todo sacudimiento violento. Se ha magnetizado una lámina de acero con un escelente iman: su virtud atractiva que entonces era muy fuerte se desvaneció desde el instante que fue batido sobre un yunque.

2.º Se ha magnetizado un pedazo de hilo de hierro, de modo que se dirigia con actividad segun el meridiano magnético, se encorvó despues á manera de anillo, y se halló que bajo esta forma no tenia direccion; se volvió á su primer estado y no se halló que se dirigiese segun el meridiano magnético.

3.º La accion del fuego destruye tambien en gran parte la virtud magnética comunicada. Se ha magnetizado una lámina de hierro, la que despues se enrojeció en el fuego de una fragua y en este estado de incandescencia se aproximó á las limaduras de hierro; ninguna molécula de las limaduras se dirigió hácia á la lámina y de consiguiente la virtud atractiva era nula. Se enfrió la lámina, y con sola esta variacion de temperatura recobró la virtud magnética que la incandescencia le habia quitado.

1710. El hierro y el acero reciben algunas veces la fuerza magnética de manos de la naturaleza por medios que nos son aun desconocidos.

1.º Un pedazo de hierro de figura oblonga que quede por cierto tiempo en una posicion vertical pasa á ser un iman tanto mas vigoroso cuanto mayor tiempo conserve su posicion; asi es que las cruces que terminan los campanarios han adquirido muchas veces una virtud magnética bastante poderosa para hacerles perder las propiedades metálicas.

2.º Las palas, las tenazas, las varillas de hierro de las ventanas y generalmente todas las piezas de hierro que queden por

largo tiempo en una posicion vertical, adquieren la virtud magnética mas ó menos permanente, segun el tiempo durante el que hayan conservado su posicion. El polo austral reside en la parte superior de estas barras, y el polo boreal en su parte inferior.

3.º En ciertas circunstancias el rayo comunica al hierro una poderosa fuerza magnética. Cayó una vez un rayo en un cuarto en que habia una caja llena de cuchillos y tenedores; muchos de estos instrumentos fueron fundidos ó rotos. La mayor parte de los que se escaparon de este accidente fueron tan vigorosamente magnetizados, que salieron capaces de levantar grandes clavos y pedazos de hierro.

CAPÍTULO III.

TEORÍA DEL MAGNETISMO.

Se ha dado el nombre de *magnetismo* á la propiedad que tiene el iman de ejercer una accion atractiva mas ó menos poderosa sobre todos los cuerpos de la naturaleza.

1711. Se creia poco tiempo hace que el hierro gozaba esclusivamente de la propiedad de ser atraido por el iman. Esta propiedad fue despues reconocida en el niquel, en la platina, en el cobalto y esclusivamente atribuida á un resto de hierro que alteraba, se decia, su homogeneidad. Se juzgaba generalmente que reduciendo estas sustancias á un alto grado de pureza, se llegaria á hacer desvanecer enteramente la virtud atractiva que se veia en ellas por la presencia del iman.

1712. El célebre *Coulomb* publicó poco tiempo antes de su muerte, una serie de esperimentos ingeniosos y delicados que confirman el influjo del iman sobre todos los cuerpos de la naturaleza: este influjo, aunque real, es diferente en diferentes cuerpos; es tambien necesariamente muy débil en la mayor parte, pues que hasta ahora se habia escapado de la vista atenta de un grande número de observadores. Era menester para reconocer su existencia dar á los cuerpos que se querian sujetar á la esperiencia una movilidad que les permitiese ceder á la mas ligera

impresion. *Coulomb* logró este objeto, dando á cada uno de los cuerpos que sujetó á la esperiencia la forma de un cilindro, cuyas dimensiones eran estremamente pequeñas. El pequeño cilindro estaba suspendido de un hilo de seda tal como sale del capullo, y colocado entre los polos opuestos, poco distantes el uno del otro de dos barras de acero situadas en una misma línea recta. Dispuesto todo asi, la esperiencia hizo ver que cualquiera que fuese la materia del pequeño cilindro tomaba siempre exactamente la direccion de las dos barras, y si se apartaba de esta direccion volvia siempre á la misma despues de oscilaciones cuyo número era á menudo de mas de 30 por minuto. Estos esperimentos se probaron sucesivamente con pequeños cilindros de oro, de plata, de cobre, de estaño, de plomo, de vidrio, con un pedazo de creta, con un fragmento de hueso y diferentes especies de maderas. *Coulomb* dedujo de estos esperimentos, cuya exactitud no es equívoca, que todos los elementos que entran en la composicion de nuestro globo estan sujetos al influjo magnético; de consiguiente que la reunion de todos estos elementos hace de la tierra un grande y único iman.

1713. El mismo físico trabajó despues para saber 1.º si suponiendo que el influjo del iman sobre todos los cuerpos fuese debido á una pequeña cantidad de hierro que cada uno de ellos encerrase, se podria apreciar con exactitud la cantidad de hierro necesaria para producirlo; 2.º para determinar en todos los cuerpos en que oscilaciones rápidas entre los polos de los imanes aseguran la presencia del hierro, aunque el hierro esté en tan pequeña cantidad que escape en grande parte á todas las analisis de los químicos, cual sea precisamente la cantidad de hierro que los cuerpos contienen. *Coulomb* llegó al fin que se proponia por una serie de esperimentos cuyo por menor se puede ver en el *Jornal de física*, cuaderno del Prerial año 10.

1714. La propiedad atractiva del iman era la sola conocida por los antiguos. La casualidad segundó despues los esfuerzos de los sábios dirigidos á esta suerte de indagaciones, y no tardaron en manifestarse á las atentas observaciones de los físicos nuevas

propiedades tales como la repulsion, la direccion, la comunicacion, la declinacion y la inclinacion.

1715. Para esplicar estos fenómenos se recorre á un fluido particular, cuya existencia apoya en unas pruebas aun menos plausibles que las que deponen en favor de la existencia del fluido eléctrico; porque el fluido magnético no afecta jamas nuestros sentidos, al paso que el fluido eléctrico manifiesta á menudo su presencia por penachos luminosos, y por brillantes chispas.

1716. Pero cualquiera que sea el modo con que estos fluidos manifiestan su existencia, parece que siguen una marcha semejante en sus acciones respectivas, y *Coulomb* ha descubierto con destreza esta especie de correspondencia para referir la teoria del magnetismo á la de la electricidad.

Este físico mira el fluido magnético como compuesto de dos fluidos particulares combinados entre sí en los cuerpos que no dan señal alguna de magnetismo, y separados cuando pasan al estado de iman. Para distinguir estos dos fluidos saca sus nombres de los que tienen los polos del iman, dando al uno el nombre de *fluido boreal* y al otro el de *fluido austral.*

Primer principio.

1717. Las moléculas de cada fluido se repelen entre sí.

Segundo principio.

1718. Las moléculas de cada fluido atraen las del otro fluido.

1719. Sucede con el magnetismo lo que sucederia con la electricidad sino existiesen mas que malos conductores de este último fluido. La cantidad de fluido magnético que es propia de cada iman no puede ser aumentada ni disminuida, y el paso de los cuerpos al estado del magnetismo reconoce únicamente por causa la separacion de los dos fluidos que componen su fluido natural y el transporte de los mismos hácia sus partes opuestas.

Cuanto mas duro es el hierro, mayor dificultad encuentran los dos fluidos de que se compone el fluido natural en el momento de su separacion para moverse por sus poros, y esta dificultad es

mucho mayor que la resistencia que los peores conductores de electricidad oponen al movimiento interno de los fluidos separados de su fluido natural. *Coulomb* compara esta resistencia á la frotacion y la llama *fuerza coercitiva*.

1720. Las diferentes acciones que ejercen los fluidos que entran en la composicion del fluido magnético, siguen la razon inversa del cuadrado de la distancia. Esperimentos ingeniosos y exactos no permiten dudar de la existencia de esta ley.

1721. De la combinacion de estos diferentes principios resulta una esplicacion. Estos dependen de la accion simultánea de cuatro fuerzas, es á saber dos atracciones y dos repulsiones, las que son todas iguales en el estado natural de los cuerpos por razones semejantes á las que nos han servido para demostrar la igualdad de las cuatro fuerzas, cuyas acciones recíprocas producen los fenómenos eléctricos.

1722. Sentado esto, 1.° dos imanes deben atraerse cuando el polo boreal del uno está situado frente por frente del polo austral del otro; porque espresando por 1 la distancia que separa estos dos polos, es claro que la que se halla entre cada uno de ellos y el polo semejante en el otro iman es necesariamente mayor que la unidad; por lo que puestas las acciones magnéticas en razon inversa del cuadrado de las distancias, la suma de las atracciones es igual á la unidad mas una fraccion, al paso que la suma de las repulsiones es igual á la suma de dos fracciones. La primera suma es mayor que la segunda, y de consiguiente dos imanes deben atraerse cuando el polo boreal del uno está situado en frente del polo austral del otro.

Dos imanes que se miran por los polos del mismo nombre deben repelerse; porque en este caso la suma de las repulsiones es visiblemente mayor que la suma de las atracciones.

1723. Si se presenta una barra de hierro no magnetizada al polo boreal de un iman, su fluido boreal descompone el fluido natural de la barra, atrayendo á sí el fluido austral, y repeliendo el fluido boreal á la parte opuesta, de modo que la barra recibe la virtud magnética; pero al mismo tiempo la barra mag-

netizada obra sobre el iman, y descompone una porcion de su fluido natural, del que parte es atraido al polo inmediato de la barra y el otro repelido hácia al polo opuesto. El mismo efecto tiene lugar con mayor razon, cuando se escita la virtud magnética en una barra por el contacto inmediato de otra ya magnetizada, y de esto resulta que un iman puede hacerse mas fuerte, cuando parece que ha cedido parte del fluido que constituye su fuerza.

Reaumur fue el primero que observó este fenómeno. Un iman que apenas sostenia un pedazo de hierro de un peso determinado, lo elevaba con mucha mayor facilidad hallándose el hierro debajo un yunque. Esto depende segun la teoría que se acaba de adoptar, de que el hierro no puede estar en contacto con el iman sin recibir la virtud magnética; en este caso obra por su parte sobre el yunque para magnetizarlo tambien, y el yunque oponiéndole una reaccion descompone una buena porcion de su fluido natural, aumenta asi la cantidad de fluido libre en cada uno de sus polos, y le vuelve mas capaz de ser atraido de lo que lo era sin este socorro.

1724. Entre el grande número de fenómenos que deponen en favor de la teoría de *Coulomb* el fenómeno siguiente parece espresarse de un modo decisivo.

Primer esperimento. Tómense dos barras magnetizadas que tengan á corta diferencia la misma fuerza y que sean capaces de sublevar un pedazo de hierro; dispóngase una de las barras encima una mesa, de modo que salga lo bastante para que el pedazo de hierro esté suspendido de ella. Póngase en este caso la otra barra sobre la que sostiene el pedazo de hierro, haciendo corresponder en el mismo lado los polos de diferentes nombres. El pedazo de hierro cae al instante, porque la accion que el polo en contacto con él ejerce para atraer su fluido heterogéneo, es casi destruida por la fuerza repulsiva de la segunda barra.

1725. Las dos mitades de una barra de acero bien magnetizada estan animadas de una fuerza igual y contraria; de modo que todos los puntos de la superficie de una misma mitad atraen

constantemente el uno de los polos de una brújula, al paso que todos los de la otra mitad le repelen. Si se separa de una de las estremidades una parte que tenga tan poca longitud como se quiera, goza de las mismas propiedades que la barra entera.

Este fenómeno que presenta la observacion, ha sido hasta aqui el escollo de todas las teorías. Estaba reservado para *Coulomb* dar de él una esplicacion satisfactoria arreglada á una idea muy plausible que consiste en que cada molécula integrante de barra es en sí un pequeño iman que tiene sus dos polos iguales en fuerza, y que todos estos pequeños imanes estan arreglados en fila, de modo que el polo boreal del uno se halla en contacto con el polo austral del otro.

En la una de las mitades que suponemos estar la que mira al sud, cuando la barra está libre, el polo boreal de cada molécula es mas fuerte que el polo austral de la molécula precedente, de suerte que la fuerza del polo boreal puede ser mirada como resultante de dos fuerzas, de las que la una es detenida por la fuerza austral inmediata, al paso que la otra que supera el punto de equilibrio, es la sola efectiva; pero esta diferencia disminuye hasta la mitad de la barra en que resulta nula; y lo mismo sucede en la mitad de la barra que se vuelve hácia al norte.

Para hacer mas sensible esta ingeniosa esplicacion, se representa por medio de la siguiente tabla la serie de los polos, de modo que la letra *a* significa el polo austral y la *b* el boreal de cada molécula, y se espresan las fuerzas de los diferentes polos por los números colocados encima de las letras correspondientes.

12-12,-20-20,-24-24,-25-25-	25-25,-24-24,-20-20,-12-12.
a—*b*—*a*—*b*—*a*—*b*—*a*—*b*	*a*—*b*—*a*—*b*—*a*—*b*—*a*—*b*

La mitad de la serie que está en la derecha representa la de la barra en la que reside lo que llamamos *polo boreal:* las fuerzas absolutas de los polos de la primera molécula son iguales cada una á 12, las de los polos de la segunda á 20, las de los polos de la tercera á 24 etc., etc. La fuerza boreal de la primera molécula no sufre alteracion alguna; esta subsiste del todo. No su-

cede asi á su fuerza austral; esta es destruida por la fuerza boreal de la segunda molécula, que es igual á 20: de que resulta que no queda mas que 8 de fuerza boreal para el punto de contacto entre las dos moléculas. Del mismo modo la fuerza austral de la segunda molécula representada por 20 es destruida por la fuerza boreal de la tercera que es igual á 24, y no queda evidentemente mas que 4 de fuerza boreal para el punto de contacto entre la tercera y segunda molécula, y continuando el mismo raciocinio con razon á las otras moléculas, el estado de la barra se reduce al que es representado por la siguiente tabla, en la que todas las fuerzas de la mitad de la derecha son boreales, y las de la mitad de la izquierda son todas australes.

12, 8, 4, 0	0, 4, 8, 12
a, *a*, *a*, *a*	*b*, *b*, *b*, *b*.

Es evidente, 1.° que el iman obra aqui como que tenia sus dos mitades animadas de fuerzas iguales y opuestas; 2.° que si se separa una pequeña porcion de iman de las estremidades por pequeña que se suponga su longitud, tendrá un polo boreal en una pequeña estremidad, un polo austral en la estremidad opuesta, y las fuerzas de estos dos polos que eran desiguales en el momento de la separacion, lo son despues por una nueva distribucion que se hace del fluido en el interior del pequeño iman; de que resulta la misma conformidad que en el iman entero, entre las densidades de los puntos semejantemente situados por los dos lados.

Se ha visto que las turmalinas presentan un fenómeno semejante que no escita mas la sorpresa, si como se ha hecho por los imanes, concebimos que las turmalinas son compuestas de tantos pequeños cuerpos eléctricos cuantas son las moléculas integrantes que encierran. Cada una de ellas debe sufrir la doble accion de la electricidad, para poner sus dos mitades en dos estados diferentes de modo que la distincion de estos mismos estados, relativamente al cuerpo entero, no es mas que consecuencia de lo que sucede en cada molécula.

1726. Procuremos entre tanto apreciar el influjo de las arma-

duras para conservar y aun para aumentar la fuerza magnética de los imanes. Para lograrlo analicemos el efecto de la armadura que corresponde al polo boreal del iman. La fuerza de este polo obra para descomponer el fluido natural de la armadura; esta fuerza atrae del fluido austral de las partes de la armadura las inmediatas al iman, es decir de la pierna, y repele el fluido boreal á las partes mas lejanas, es decir al pie: de que resulta que el pie de la armadura adquiere la especie del magnetismo que existe en la parte correspondiente de la armadura, es decir, el magnetismo boreal; y es evidente que los efectos contrarios tienen lugar relativamente á la otra armadura.

El fluido austral acumulado en la pierna obra á su turno para descomponer una nueva porcion de fluido natural del iman; y la fuerza atractiva que ejerce sobre su fluido boreal no es mas que debilmente contrabalanzada por la repulsion del pie de la armadura cuya distancia es mayor. Este conflicto de fuerzas resulta pues en ventaja del iman que adquiere asi mayor actividad y energía.

Si la pierna de la armadura es muy delgada contiene poco fluido natural; y el polo adyacente del iman no rechaza mas que una peqneña cantidad de fluido de la misma especie hácia al pie. Si la pierna es muy gruesa el polo adyacente no repele hácia al pie mas que una porcion de fluido de la misma especie; el resto queda en la pierna, y su demora altera la accion efectiva del iman.

1727. Faltan esplicar tres fenómenos importantes, que son la direccion, la inclinacion y la declinacion. Muchos físicos han creido hallar la causa de la direccion en la accion de las minas de iman que suponen ser muy abundantes en los polos, la de la declinacion y la inclinacion en la disposicion irregular de las masas que entran en la composicion de estas minas; señalan en fin por causa de las variaciones que se esperimentan en la inclinacion y declinacion, segun los tiempos y lugares, las mutaciones sucesivas que sufren estas minas por el concurso de diferentes acciones que las alteran ó las destruyen, al paso que de otra parte se estan formando otras nuevas.

Sin dejar de suponer en las minas de iman un influjo sobre la direccion de las agujas, no miraremos su accion mas que como una fuerza secundaria, y supondremos que la fuerza principal procede del globo de la tierra, al que miramos con *Coulomb* como un grande iman.

La-Hire poseia un iman natural que pesaba cerca de 50 kilógramos (100 libras), el que dispuso en forma de esfera; determinó los polos que se hallaron en dos puntos diametralmente opuestos, trazó un ecuador al que dividió de 30 en 30 grados, é hizo pasar por los puntos de division un cierto número de meridianos. Colocó despues sucesivamente en diferentes puntos de este iman una aguja magnetizada, y observó que en algunos de estos puntos se dirigia exactamente de un polo á otro, y que en otros puntos declinaba á derecha ó izquierda, de modo que la mayor declinacion observada era de 26 grados.

Supongamos que esta aguja esté suspendida libremente de un hilo muy fino entre el ecuador y el polo boreal del iman de *La-Hire*, y sigamos el juego de las diferentes fuerzas que le animan. La fuerza del polo boreal del iman tiende á atraer el centro de la accion del polo austral de la aguja y á repeler el del polo boreal. La fuerza del polo austral del iman obra al contrario por repulsion sobre el centro de accion del polo austral de la aguja, y por atraccion sobre el del polo boreal. Estas cuatro fuerzas pueden ser reducidas á dos que obran sobre la aguja en sentido contrario, cuya relacion variable dependerá de las distancias entre los centros de accion de la aguja y los polos del iman.

1728. Una aguja colocada sobre el globo terrestre, está sujeta á fuerzas que sufren la misma combinacion. El polo austral de esta aguja es solicitado hácia al norte y el polo boreal hácia el sud; pero aqui las dos acciones son sensiblemente iguales cualquiera que sea el punto de la tierra en que la aguja esté situada.

Tenemos por fiador de esta igualdad un esperimento de *Buquer* que atestigua que un hilo que tenga una direccion vertical conserva la perpendicular, sea que se suspenda en su estremidad por el medio una aguja no magnetizada ó la misma magnetizada.

Ademas si estas dos acciones no fuesen iguales el esceso de la mayor podria ser considerado como una fuerza particular, cuya direccion haciendo un ángulo con la de la pesadez alteraria la accion de esta última fuerza, y de consiguiente el peso de una aguja magnetizada no seria el mismo que antes de la operacion que le comunica el magnetismo, lo que es contrario á la esperiencia.

Pero esta igualdad de acciones opuestas que solicitan una aguja colocada sobre el globo de la tierra, nada tiene que pueda escitar la sorpresa por poco que se considere que la tierra es un grande iman que obra sobre la aguja magnetizada á muy grandes distancias. Los dos centros de acciones de la aguja estan pues infinitamente cercanos el uno del otro, relativamente á los centros de accion de la tierra, y de consiguiente la repulsion que el polo boreal de la tierra ejerce sobre el centro boreal de la aguja, está sensiblemente en equilibrio con la atraccion del mismo polo sobre el centro austral de la aguja. El mismo equilibrio sucede con relacion á las acciones del polo austral de la tierra sobre los dos centros de la aguja; de que resulta que la aguja está solicitada por cuatro fuerzas, las que tomándose de dos en dos son iguales y contrarias, y de consiguiente que es igualmente atraida hácia al sud.

1729. Supongamos ahora que en el iman de *La-Hire*, la aguja situada en el ecuador y su polo norte sea separada de su meridiano magnético en virtud de una ligera impulsion dada á su polo austral hácia el este, impulsion que determina un movimiento del polo boreal al oeste. En esta suposicion el polo boreal del iman atrae al polo austral de la aguja para volverle hácia al oeste, y repele al contrario hácia el este el polo boreal de la aguja; y es evidente que estas dos acciones concurren para determinar la vuelta de la aguja á su meridiano magnético. Raciocinando del mismo modo sobre la accion del polo austral del iman, es fácil ver que es igualmente compuesta de dos acciones que tienden al mismo fin; pero estas diferentes fuerzas son oblicuas: es menester pues para apreciar los efectos que producen,

descomponer cada una de ellas en dos, de las que la que es perpendicular á la aguja contribuya sola al resultado; y es evidente que se puede sustituir á las diferentes perpendiculares dadas por estas descomposiciones una sola fuerza que sea tambien perpendicular á la aguja, y que en el presente caso en que esta aguja se supone mas inmediata al polo norte del iman, podrá ser concebida como aplicada á un punto situado entre el medio de la aguja y la estremidad que mira al norte. *Coulomb* halló por observacion que relativamente á las agujas movidas por la accion del globo de la tierra, esta fuerza que se llama *fuerza directriz* de la aguja era proporcional al seno del ángulo que hace la direccion de la aguja apartada de su meridiano con la direccion de este mismo meridiano.

Pero el globo terrestre no obra esclusivamente sobre los polos de la aguja sino que ejerce tambien una accion sobre sus diferentes puntos; y estas fuerzas tienen tambien una derivada en una direccion paralela al meridiano magnético y de consiguiente oblicua á la aguja que se supone siempre apartada de este meridiano; y es claro que esta derivada debe pasar por un punto situado en la mitad de la aguja que corresponde al polo norte del globo terrestre, si el esperimento se hace en las regiones boreales ó en el polo sud en la suposicion contraria. Se ha hallado que la fuerza representada por esta derivada era constante, cualquiera que fuese el número de grados de que la aguja estuviese apartada de su meridiano, y que ademas pasaba siempre por el mismo punto de la aguja. La teoría establece una conexion entre los nuevos hechos y el quedar las fuerzas directrices proporcionales á las cantidades de separacion de la aguja de su meridiano, de modo que partiendo de este último hecho como de un principio de observacion, y suponiendo que la fuerza pasa siempre por un mismo punto de la aguja, se concluye por medio del cálculo que debe ser constante.

Coulomb tomó estos diferentes resultados por bases de su teoría y se sirvió de ellas con suceso para representar con fórmulas

analíticas las principales leyes del magnetismo que la esperiencia habia ya determinado.

1730. Si se coloca una aguja no magnetizada en la esfera de actividad de uno de los imanes que comunmente poseemos, la aguja no tarda á recibir la virtud magnética. No nos sorprenda pues que la accion del globo terrestre que se estiende á distancias inmensas transmita un cierto grado de virtud magnética á las vergas de hierro y otros cuerpos semejantes, cuya fuerza coercitiva no es bastante para resistir á esta accion. El magnetismo que reciben asi las vergas de hierro no es muy considerable; pero se puede por medio de la frotacion aumentar hasta el punto de escitar en las barras de acero una muy grande fuerza magnética, sin recurrir á la presencia de ningun iman.

1731. Para dar á una barra de hierro un principio de magnetismo, la posicion mas ventajosa es la que coincide con la direccion de una aguja magnetizada suspendida libremente; porque en este caso la derivada de todas las fuerzas que ejerce el globo de la tierra es dirigida segun la longitud de la barra. La posicion menos ventajosa es aquella en que estando la barra situada en un plano paralelo á la superficie superior ó inferior de la aguja, su longitud es perpendicular á la direccion natural de esta misma aguja, porque en este caso la derivada de las fuerzas del globo terrestre es en el sentido del espesor de la barra. Entre estas dos posiciones hay un grande número de otras en que la barra recibirá mas ó menos virtud magnética, segun que cada posicion se aproxima mas ó menos á la que da el *maximum* de magnetismo.

La esperiencia confirma la exactitud de estos resultados.

Segundo esperimento. Tómese una barra de hierro dulce y téngase un instante en una posicion inclinada de algunos grados al horizonte; preséntese sin cambiar de posicion la estremidad inferior de la barra al polo austral de una aguja magnetizada, y la repele.

Tercer esperimento. Hágase bajar la barra manteniéndola en

la misma direccion hasta que su estremidad superior se halle frente por frente del mismo polo de la aguja; en este caso hay atraccion.

Cuarto esperimento. Inviértase la posicion de la barra, los polos se hallan tambien invertidos inmediatamente, y la estremidad que repelia el polo austral de la aguja lo atrae, al paso que la que le atraia, lo repele.

El hierro dulce no opone mas que una debil resistencia al movimiento interno de los dos fluidos que resultan de la descomposicion del fluido natural; esta es la razon porque el magnetismo que adquiere, no es mas que un efecto pasagero que la simple inversion de la barra lo desvanece, haciéndole adquirir la virtud contraria.

Quinto esperimento. Téngase la barra en el plano que corresponde la superficie superior ó inferior de la aguja, de modo que la longitud de este plano sea perpendicular al meridiano magnético; la accion del globo terrestre sobre la barra es casi insensible; pero la aguja magnetizada que se le presenta descompone una pequeña porcion de su fluido natural; de aqui viene que atrae indistintamente á esta aguja por sus dos estremidades. Se producen efectos semejantes con una masa cualquiera hecha de hierro dulce y de figura longitudinal; pero si este cuerpo tiene poca masa es menester servirse de una aguja debilmente magnètizada, cuya accion inmediata sobre este cuerpo no puede alterar el efecto del magnetismo natural.

LIBRO DÉCIMOCUARTO.

DE LOS METEOROS.

1732. Llámase *metéoro* todo fenómeno que toma su orígen en la atmósfera. Se distinguen varias especies de metéoros; los unos consisten en oscilaciones mas ó menos fuertes del fluido atmosférico determinadas por una pérdida de equilibrio entre las columnas que lo componen; á estos se les llama *metéoros aéreos*.

Otros son debidos al abandono que el aire hace de las moléculas acuosas á las que tiene la propiedad de disolver, y que se precipitan por una disminucion de presion ó de temperatura, unas veces bajo forma fluida y otras en forma concreta segun las circunstancias. A estos se les llama *metéoros acuosos*; esta clase comprende los fenómenos de la lluvia, de la nieve, del granizo, del rocío, de la niebla, etc.

Muchos fenómenos atmosféricos son debidos á la accion que las moléculas acuosas dispersadas en la atmósfera, ejercen sobre los rayos solares que refrinjen ó reflejan segun las circunstancias. A estos se les da el nombre de *metéoros luminosos*; tales son el arco iris, las parelias, las coronas, etc.

Una cuarta clase en fin comprende los fenómenos atmosféricos que se presentan con los caractéres que distinguen la combustion. A estos se les da el nombre de *metéoros ignitos*; tales son las estrellas errantes, el relámpago, el rayo, las aerolitas ó piedras atmosféricas, las auroras boreales, etc.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LOS METÉOROS AÉREOS Ó DE LOS VIENTOS.

1733. El viento no es otra cosa que el movimiento del aire mas ó menos rápido segun su direccion determinada.

1734. Los vientos han recibido diferentes nombres sea con razon á su direccion, sea con razon á los diferentes puntos del horizonte de que vienen. El que viene del norte se llama *viento del norte;* el que corre del sud al norte se llama *viento del sud;* el que va del oriente al occidente se llama *viento del este;* y el que de occidente á oriente se llama *viento del oeste.*

Los vientos se dividen en generales ó constantes, periódicos ó arreglados y en variables.

1735. Los *vientos generales ó constantes* soplan siempre del mismo lado; tales son los *vientos eliseos* que se notan entre los dos trópicos y que corren constantemente de oriente á occidente. Esta direccion de los vientos eliseos sufre no obstante ligeras variaciones segun las diferentes declinaciones del sol.

1736. Los vientos *periódicos ó arreglados* soplan periódicamente de un punto del horizonte por un cierto tiempo, y de otro punto en otro tiempo; tales son los *monzones* que soplan del sudeste desde el mes de octubre hasta al de mayo, y del nordoeste desde el mayo al octubre, entre la costa de Zanguevar y la isla de Madagascar; tales son tambien los vientos de tierra y de mar que soplan por la mañana de la mar á la tierra y por la tarde de la tierra á la mar.

1737. Los vientos *variables* soplan tan pronto de un lado como de otro; estos no estan sujetos á ley alguna con relacion á lugares ni á tiempos: su duracion, su direccion y la velocidad que les anima, esperimentan grandes y frecuentes variaciones.

1738. La atraccion del sol y de la luna producen en las aguas de la mar oscilaciones periódicas. Esta atraccion antes de llegar al oceano tiene que atravesar la atmósfera la que debe sin duda resentirse de sus efectos, estar sujeta á movimientos semejantes al de la mar y esperimentar como el mercurio del barómetro, agitaciones que aunque ligeras en sí mismas pueden aumentarse sensiblemente por el influjo de las circunstancias locales.

Podemos pues mirar la atraccion del sol y de la luna como una de las causas que dan orígen á los vientos de que la atmós-

fera es el teatro; pero la accion de estos seres no produce ni en la mar ni en la atmósfera movimiento alguno constante de oriente á occidente, y de consiguiente los *vientos eliseos* no pueden reconocerla por causa.

1739. Es probable que los vientos eliseos reconocen por causa la dilatacion que sufre el aire por la accion del calor; porque es visible que el calor del sol que suponemos para mayor simplicidad en el plano del ecuador, enrarece las columnas de aire y las eleva encima de su nivel; de que resulta que deben desplomarse por su peso y trasladarse hácia á los polos por la parte superior de la atmósfera; pero en el mismo tiempo debe venir por la parte inferior un nuevo aire frio que llegando de los climas situados en los polos se sustituya al que ha sido enrarecido en el ecuador. Se forman pues dos corrientes opuestas de aire, la una en la parte inferior y la otra en la parte superior de la atmósfera; pero la velocidad real del aire debida al movimiento de rotacion de la tierra es tanto menor cuanto mas cercano está del polo: de que se sigue que marchando hácia al ecuador debe girar con menor velocidad que las partes correspondientes de la tierra. Los cuerpos situados en la superficie de la tierra deben pues chocar con el esceso de su velocidad y esperimentar por su reaccion una resistencia opuesta á su movimiento de rotacion, y de consiguiente para el observador que se cree en reposo, el aire debe parecer que se mueve en un sentido directamente contrario al de la rotacion de la tierra, es decir, de oriente á occidente.

1740. Un grande número de causas puede determinar la pérdida de equilibrio en las columnas fluidas de que se compone la atmósfera, y complicarse en la produccion de los vientos cuyo espectáculo nos ofrece. Para convencerse de esto basta considerar un instante el paso del fluido eléctrico de la atmósfera á la tierra, y de la tierra á la atmósfera; la inmensa cantidad de vapores de que alternativamente se carga y descarga; el influjo del calor y del frio sobre su resorte y fluidez; en fin las variaciones que la rotacion de la tierra produce en la velocidad relativa de sus moléculas. Estas consideraciones ilustrándonos acerca la gran-

de variedad de oscilaciones de la atmósfera dan á conocer al mismo tiempo la dificultad de sujetarlas á una ley invariable.

1741. Los físicos se han ocupado en medir la velocidad del viento, y el medio que ha sido casi generalmente empleado consiste en presentarle cuerpos muy ligeros para que los arrebate, y en medir el espacio que los hace correr en un determinado tiempo; pero los resultados de sus indagaciones estan bien lejos de ser satisfactorios. *Mariotte* ha hallado que la velocidad del viento mas impetuoso es de 32 pies por minuto segundo, y *Deranth* la halló de 66 pies en igual tiempo, es decir cerca del doble. Es menester pues concluir de aqui que estos dos físicos no tenian regla segura para juzgar que viento es el mas impetuoso; es probable que el 1.° tomó por mas fuerte de todos un viento que pudo serlo alguna vez.

1742. Se han imaginado instrumentos propios para medir la direccion, la duracion y la velocidad de los vientos; á estos instrumentos se les llama *anemómetro*. Una veleta tal como las que se ponen encima los campanarios ó en lo alto de los edificios es un verdadero anemómetro. Es simple, pero es imperfecto. Señala es verdad la duracion y la direccion del viento, pero no puede servir para medir su velocidad; ademas es incómodo porque cuando se quiere consultar es menester salir fuera de su habitacion.

Entre los diferentes anemómetros que se han imaginado el mas ingenioso y completo es uno cuya descripcion se halla en la coleccion de memorias de la academia de ciencias año 1754, página 125. Este instrumento señala no solo la direccion, la duracion y la velocidad relativas de cada viento, sino que tiene en algun modo para el observador ausente registro de las diferentes variaciones que han sufrido la velocidad y la direccion: señala con exactitud la hora en que estas variaciones han sobrevenido y la duracion de cada viento.

Las transacciones filosóficas encierran la descripcion de un anemómetro que consiste en una plancha móvil encima del limbo graduado de un cuarto de círculo. El viento se supone que sopla

perpendicularmente contra esta plancha móvil, y su fuerza es indicada por el número de grados que le hace correr.

CAPÍTULO II.

DE LOS METÉOROS ACUOSOS.

PARRAFO PRIMERO.

De la lluvia.

1743. Llámase lluvia el agua que cae del seno de la atmósfera en la superficie de la tierra en forma de gotas.

Distingo dos especies de lluvias; la lluvia de tempestad y la lluvia ordinaria, de las que hablaré separadamente.

De la lluvia ordinaria.

1744. Se ha visto esponiendo las propiedades químicas del aire y del agua; 1.° que estos fluidos ejercen el uno contra el otro una atraccion recíproca, pero desigual en virtud de la que el agua disuelve aire pero en mayor proporcion; 2.° que el aire disuelve tanta mayor cantidad de agua cuanto mas comprimido se halla y su temperatura es mas elevada. Síguese de estos principios, 1.° que la atmósfera contiene siempre una cantidad de agua proporcional á las dos causas que concurren á producir la disolucion del agua por el aire, es á saber, la presion y la temperatura; 2.° que la presion y la temperatura aumentando juntos ó separadamente, la facultad disolvente del aire aumenta; lo que hace ver que durante la ardiente estacion de verano, la atmósfera contiene una grande cantidad de agua que no altera su transparencia porque se halla perfectamente disuelta, y que no manifiesta su existencia ni en el cabello del higrómetro; 3.° que si la presion ó temperatura disminuye juntos ó separadamente, el aire debe abandonar parte del agua que tiene en disolucion. Las moléculas de agua abandonadas por el aire pierden su estado

elástico, recobran la liquidez, y las que se hallan en las inmediaciones obedeciendo á las leyes de atraccion se reunen, y se precipitan en virtud de la pesadez en la superficie de la tierra; de que se sigue que la lluvia ordinaria reconoce por causa el abandono que hace el aire de una parte del agua que tiene en disolucion, y este abandono es siempre determinado por una disminucion de presion ó de temperatura, y algunas veces tambien por una disminucion de intensidad de estas dos causas.

1745. No siendo la lluvia otra cosa que moléculas de agua que el aire abandona despues de haberlas disuelto, es claro que esta disolucion debe ser mas abundante encima de los mares y grandes lagos, que encima de las tierras que proporcionan menor evaporacion. Esta es la razon porque las lluvias en igualdad de circunstancias son mas frecuentes en las inmediaciones de las costas que en medio de los continentes y grandes islas; esta es la razon porque el viento de oeste y el viento del sud nos dan á menudo lluvia, por llevarnos el viento de oeste las nubes formadas sobre el Océano y el viento sud las que se forman encima el Mediterráneo.

1746. Nadie ignora que la lluvia produce segun las circunstancias buenos ó malos efectos. Las lluvias de primavera y de verano son comunmente saludables; estas refrescan el aire, purifican la atmósfera, templan la actividad de un calor incómodo, humedecen la tierra seca y árida, dan á las plantas que perecen el alimento necesario para la vejetacion.

Las lluvias de otoño é invierno se hacen funestas si son demasiado abundantes. Estas privan al aire que siempre nos rodea un carácter de humedad cuyo influjo sobre la economía animal es muy á menudo nocivo; estas retardan el que se sazonen los frutos, perjudican los progresos de la vejetacion, echan á perder los caminos, hacen que los rios salgan de madre, y detienen el curso de la navegacion.

1747. Desde mucho tiempo se mide en el observatorio de Paris, la cantidad de lluvia que cae durante el curso de cada año. El instrumento que sirve para esto consiste en un vaso de figura

cilíndrica, en el interior del que hay una escala graduada en la direccion de su altura dividida en centímetros y en milimetros ó en pulgadas y líneas. Cada vez que llueve se observa cuantas líneas el agua ha subido en el vaso: se nota esta elevacion, y al fin del año se ve por una simple adicion, cual es la cantidad de lluvia que ha caido durante los 12 meses. Estas observaciones repetidas con cuidado por una larga serie de años nos han enseñado que en Paris por término medio caen en lluvia diez y nueve pulgadas de agua. Semejantes observaciones hechas en Inglaterra, en Alemania, en Suiza, en Holanda, hacen ver que la cantidad de lluvia que cae por término medio en un año, en Lóndres es de 37 pulgadas y media medida inglesa, lo que hace cerca 35 pulgadas 2 líneas de Francia; en Roma de 20 pulgadas; en Pisa de 34 pulgadas y media; en Padua de 37 pulgadas y media; en Leyden de 39 pulgadas y media; en la Haya de 27 pulgadas y media; en Zurich, en Suiza de 32 pulgadas; en Witemberch de 16 pulgrdas y media; en Lion de 37 pulgadas. Estos resultados se han obtenido por la adicion de las cantidades de lluvia que han caido durante muchos años, y dividiendo esta suma por el número de años.

De la lluvia de tempestad.

1748. La lluvia de tempestad es una lluvia abundante y de poca duracion comunmente precedida de un calor sofocante y de vientos impetuosos; pero siempre acompañada de relámpagos, de rayos y de truenos. Estos diferentes fenómenos que se combinan en la formacion de las tempestades, se atribuian antiguamente á una viva fermentacion producida naturalmente en el seno de la atmósfera, y á corta diferencia semejante á la que se ve en nuestros elaboratorios por una mezcla bien hecha de azufre, de carbon y de nitrate de potasa, en la que la presencia de un cuerpo en ignicion aumenta la temperatura.

Un grande número de físicos han sido de esta opinion hasta la época en que *Franklin* arrebató el fluido eléctrico de las nubes tempestuosas, y le hizo servir para imitar hasta cierto punto los

fenómenos que acompañan las tempestades. Desde entonces el trueno, el rayo, el relámpago han sido mirados como fenómenos eléctricos; pero en el estado actual de conocimientos esta esplicacion vaga no seria satisfactoria para un físico; siendo ademas insuficiente para dar razon de estos chaparrones repentinos que caracterizan las tempestades.

1749. Me parece probable que el fluido eléctrico no es el solo agente que la naturaleza emplee para producir las tempestades; muchas causas se combinan en su produccion; procuremos analizarlas y apreciar su influjo respectivo en la formacion de este formidable metéoro.

Para hacerlo con buen éxito importa notar 1.° que la zona tórrida es el teatro favorito de las tempestades; las que jamas se manifiestan en las regiones vecinas á los polos. Jamas truena en la Groenlandia ni en la bahia de Hudson. (Muskembroek tom. II de su ensayo de física pág. 414). En las zonas templadas las tempestades son mas frecuentes y mas violentas á medida que se aproximan á los trópicos; y en la latitud de 40 á 50 grados el verano es la estacion ordinaria de las tempestades.

Estos hechos confirmados por una larga serie de observaciones exactas conducen naturalmente á concluir que los dias tempestuosos son señalados por una separacion considerable de gas oxígeno y de gas hidrógeno, procedentes de la descomposicion del agua; y pues que las capas atmosféricas que habitamos no encierran sino gas oxígeno y gas nitrógeno ó azoe, mezclados en una justa proporcion, hay motivo para sospechar con el ilustre *Lavoisier* que el gas hidrógeno marcha á las altas regiones de la atmósfera en que va á ocupar el lugar señalado por su gravedad especifica. El gas oxígeno puede ser que le sirva de cubierta y la ligereza especifica de los pequeños globos determina su elevacion, favorecida al mismo tiempo por los vientos impetuosos que acostumbran preceder ó acompañar las tempestades. 2.° Un grande número de esperimentos hechos con el electrómetro no nos permiten dudar que en los tiempos tempestuosos el fluido eléctrico se halla sobreabundante en las altas regiones de la atmósfera, al paso

que un grande número de sustancias de que se componen el globo terrestre y su capa atmosférica, buscan vivamente una parte de su fluido natural que ha servido probablemente para volatilizar ciertos cuerpos, y darles la ligereza que determina su elevacion en la atmósfera; de que resulta que los tiempos tempestuosos presagian el restablecimiento de equilibrio del fluido eléctrico, es decir su paso de las altas capas atmosféricas á los diferentes cuerpos terrestres que solicitan su vuelta. En este paso que se efectúa con una rapidez inconcebible el fluido eléctrico debe hallar en su camino mezclas de gas oxígeno y de gas hidrógeno; la combinacion de estos gases se efectúa, y esto da origen á violentas esplosiones y á una cantidad de agua proporcional á la cantidad de fluidos aeriformes que han servido para producirla.

¿Cómo se podrá dudar de la reunion de los gases oxígeno é hidrógeno y de la chispa eléctrica y del privilegio de producir la lluvia que cae en un tiempo en que brilla el relámpago ó se siente el trueno? La atmósfera no contiene principalmente mas que aire y agua disuelta por este fluido aeriforme: de que resulta que la lluvia de tempestad reconoce por causa ó el abandono que la atmósfera hace del agua que tiene en disolucion, ó la combinacion de las bases del gas oxígeno y del gas hidrógeno por la chispa eléctrica.

1750. Cuando en un fenómeno muchas causas aisladas pueden producir un efecto, no se puede descubrir á cual de estas causas pertenece el efecto, sino preguntándolas separadamente. Es menester, bajo este principio, examinar si es probable que el agua que se halla en disolucion en el aire atmosférico, se reuna en masas sensibles para producir la lluvia en el momento mismo que la tempestad se forma. ¿Cómo se podrá esplicar segun esta opinion el por qué las lluvias de tempestad son súbitas é instantáneas; por qué la lluvia no cae sino cuando la tempestad está formada; por qué la lluvia acaba precisamente con la tempestad; por qué en fin la lluvia de tempestad es tan favorable á la vejetacion?

Estas circunstancias reunidas parecen justificar el influjo del

fluido eléctrico en la formacion de esta especie de lluvia, que podemos por consiguiente atribuir con alguna verosimilitud al concurso recíproco del gas oxígeno, del gas hidrógeno y de la chispa eléctrica. La lluvia de tempestad no empieza sino cuando estos tres elementos del agua se hallan reunidos en la atmósfera; la ausencia del uno de ellos parece anunciar el término de la lluvia.

Cuando por la entrada del fluido eléctrico las basas del gas oxígeno y del gas hidrógeno se unen estrechamente para formar la lluvia de tempestad, esta combinacion da origen á violentas esplosiones que constituyen el trueno. Al principio se creyó imitarlo por medio de nuestras máquinas; se confundia este formidable metéoro con algunas ligeras esplosiones que produce la descarga de una botella. Pero en el dia los físicos no lo intentan imitar sino haciendo pasar la chispa eléctrica al traves de una serie de pistolas de *Volta*, cargadas con una mezcla bien proporcionada de gas oxígeno y de gas hidrógeno.

1751. La ciencia de los metéoros es y será aun por largo tiempo en su infancia. Esta especie de prediccion está fundada en que la mayor parte de los metéoros se produce lejos de la atmósfera de nuestra actividad por seres de que no podemos ampararnos para sujetarlos á nuestras tentativas. No podemos pues formar mas que sospechas acerca la causa de estos fenómenos; no podemos ofrecer mas que conjeturas acerca el mecanismo de su formacion. Estas serán tanto mas admisibles en cuanto se funden en imitaciones mas perfectas de los mismos fenómenos. Pero ¿cuál es el medio que pueda servirnos para imitar este metéoro que nos presenta á un tiempo el espectáculo de los rayos, del trueno y de la lluvia? El solo medio conocido consiste en hacer pasar la chispa eléctrica al traves de una serie de pistolas cargadas de una mezcla proporcionada de gas oxígeno y de gas hidrógeno.

Podemos pues sospechar que la causa de las tempestades resulta de la combinacion de estos tres elementos, el hidrógeno, el oxígeno, la chispa eléctrica; y si estos elementos no existiesen en la atmósfera les podríamos dar una existencia hipotética, y mirarlos como equivalentes de los que la naturaleza pone en juego

para producir el meteóro que nos ofrece el espectáculo simultáneo de la lluvia, del trueno y del relámpago.

§ II.

De las nieblas.

1752. No hay persona que no haya observado este meteóro. Este se manifiesta en la superficie de la tierra bajo la forma de un vapor mas ó menos denso, que priva al aire su transparencia, y sumerje algunas veces, sobre todo durante la noche, comarcas bastante estendidas en una perfecta oscuridad.

Se observan nieblas en todos los paises, pero las comarcas pantanosas, sobre todo las que estan regadas por un grande número de rios y que son muy frias, las ofrecen con mayor frecuencia, mas espesas y que se disipan mas lentamente.

Los marinos observan tambien en la superficie de los mares densas nieblas que les privan de distinguir los astros y los objetos propios para conocer su marcha, esponiéndoles á los mayores peligros.

Las nieblas se ven particularmente en invierno, aun en las partes mas calientes; en Lima por ejemplo, en los valles del Perú, la tierra en la estacion fria se halla cubierta de nieblas espesas que se estienden hasta encima de la mar.

La esplicacion de este meteóro observado en todos tiempos ha ejercitado muchas veces la sagacidad de los físicos; pero estaba reservado para la física moderna dar de él una esplicacion tan simple como luminosa.

El aire en contacto con el agua disuelve de este una cantidad tanto mayor cuanto mas elevada sea su temperatura, y cuanta mayor presion ejerza; el agua asi disuelta en el aire aumenta su ligereza específica sin privar su transparencia, y se eleva con él en la atmósfera. Cuando en una edad de temperatura el aire se ha saturado de tanta agua como puede retener en disolucion; si su temperatura baja ó la presion disminuye, se disminuye tambien su facultad disolvente, y una parte del agua con la que estaba

unido se separa de él. Si las moléculas de agua abandonadas por el aire no tienen bastante masa para vencer la adherencia que tienen con el aire, y precipitarse en forma de lluvia quedan suspendidas en la atmósfera privándola de su transparencia y formando segun se hallan en regiones elevadas de la atmósfera ó en la superficie de la tierra las nubes ó las nieblas.

1753. En ciertos paises las nieblas esparcen un olor acre y fétido el que causa enfermedades y hace los paises mal sanos. Este efecto es producido por los fluidos elásticos, el hidrógeno, el azoe, que se separan de la tierra y que tienen en disolucion cuerpos combustibles, tales como el azufre, el carbon, el fósforo etc.; estos fluidos atravesando la atmósfera para ir á colocarse segun el órden de sus gravedades específicas, hallando las nieblas, se detienen con motivo de su atraccion con el agua, y le comunican su olor y sus calidades nocivas.

§ III.

De la nieve.

1754. La nieve no es otra cosa que agua congelada la que en ciertas circunstancias cae del seno de la atmósfera á la superficie de la tierra bajo la forma de una multitud de copos separados los unos de los otros durante su caida, y tienen todos una blancura que deslumbra.

1755. La nieve afecta en su cristalizacion la forma de pequeñas estrellas exagonales que terminan en puntas muy agudas, y que acumulándose las unas encima las otras forman un grande número de figuras regulares. Si alguna vez sucede que la nieve no ofrezca alguna señal de su cristalizacion primitiva, es menester atribuir la causa ó á la velocidad de su caida ó á su abundancia, ó en fin á una temperatura demasiado elevada en las capas atmosféricas que atraviesan. Estas circunstancias reunidas ó aisladas deben necesariamente producir en los cristales una alteracion sensible; y entonces su reunion no debe presentar mas que masas informes.

Lo que hay de singular es que la nieve que varía en diferentes tiempos es constantemente la misma en el mismo dia ó á lo menos en el mismo turbion, es decir que los copos que caen juntos no se diferencian mas que en magnitud; pero todos tienen la misma figura, de modo que la nieve de hoy puede muy bien tener una figura diferente de la que tenia la nieve de ayer, pero el órden de las pequeñas hebras es constantemente el mismo en todos los copos que caen en la misma nevada. Esto depende probablemente de que los copos de nieve que caen en el mismo dia ó en la misma nevada, se forman en circunstancias semejantes, lo que no tiene lugar para los que caen en dias diferentes.

1756. La nieve es mucho mas ligera que el hielo ordinario. El volúmen del hielo no es mayor sino como de una novena parte que el volúmen de agua que ha servido para formarlo, al paso que la nieve que acaba de caer tiene 10 ó 12 veces mayor volúmen que el agua que da cuando se deslie. *Muskembroeck* pretende haber medido con exactitud nieve que tenia la figura de estrellas, y haberla hallado 24 veces mas rara que el agua.

Cuando no caen mas que uno ó dos centímetros de nieve se ve desaparecer en menos de dos dias por un viento seco en lo mas fuerte de las heladas; de que resulta que la evaporacion de la nieve es muy considerable; esto proviene sin duda de que siendo compuesta de un grande número de partículas de hielo poco unidas, presenta al aire una infinidad de superficies.

1757. La nieve cede fácilmente á la compresion, y cuando es fuertemente comprimida pierde en parte su opacidad y su blancura. Este fenómeno nada tiene que pueda escitar la sorpresa, porque los ojos de un observador atento ven que cada una de las pequeñas moléculas de hielo de que la nieve se compone, goza de la transparencia. Ademas en una masa de nieve todas las pequeñas hebras de hielo estan separadas por intérvalos llenos de aire, cuyo poder refrinjente se diferencia mucho del de la nieve. El fluido luminoso debe pues sufrir un grande número de refracciones, las que deben dar á la nieve la opacidad y blancura, pero por una fuerte compresion se aproximan mucho las partículas

de nieve, se arroja el aire que antes de la compresion estaba interpuesto entre los pequeños cristales: por lo que los fluidos que el medio luminoso debe atravesar se diferencian menos en cuanto á su poder refrinjente; lo que hace que sufra menor número de reflexiones, y de consiguiente que la nieve pierda en parte su blancura y su opacidad.

1758. Pues que la nieve refleja fuertemente el fluido luminoso, su aspecto sostenido por largo tiempo debe dañar los ojos débiles y delicados. No nos sorprenda pues que en el ejército de Ciro habiendo marchado algunos dias al traves de montes cubiertos de nieve muchos de sus soldados perdiesen la vista, y que otros muchos sufriesen en este órgano delicado una perniciosa inflamacion.

1759. Cuando cae nieve despues de algunos dias de fuertes heladas, se observa que el frio, aunque siempre próximo á la conjelacion, sufre una disminucion sensible.

Esto sucede porque de una parte el tiempo debe ser sombrio y cubierto para que nieve, y de otra los vientos del sud, de oeste etc. que cubren el cielo de nubes disminuyen casi siempre la intensidad del frio. He dicho casi siempre porque nadie ignora que nieva algunas veces por un frio muy vivo y muy agudo que aumenta despues de la caida de la nieve. *Muskembroeck* observó que la nieve que cae bajo la forma de agujas es siempre seguida de un frio escesivo; la que cae en un tiempo dulce y que está mezclada con lluvia toma la forma de gruesos copos.

La nieve tiene un influjo señalado en la constitucion de la atmósfera. Los vientos que han pasado por encima de montes nevados enfrian siempre las llanuras vecinas por donde pasan. Las nieves que cubren sin cesar las cimas de las cordilleras templan mucho los ardores sufocantes del Perú. Sucede lo mismo en muchos paises situados en la zona tórrida ó fuera de esta zona en las inmediaciones de los trópicos.

Nadie ignora que la nieve fomenta licuándose, los torrentes y los rios, y que cuando se deshace con mucha prisa causa á menudo inundaciones desastrosas.

1760. La nieve que cubre las plantas durante los rigores del invierno da á la vejetacion que la primavera desarrolla mayor actividad y energía, cuando su licuacion se hace lentamente y para decirlo asi por grados; si se licua súbitamente puede alterar y aun destruir la organizacion de los vejetales. Nada es mas dañoso á los árboles y á las plantas que la nieve que estando algun tiempo encima la tierra se licua en parte durante el dia y se hiela durante la noche. Esto es lo que determinó en muchas partes de la Francia la pérdida de una porcion de árboles preciosos en el invierno de 1755.

1761. La nieve no siendo mas que agua conjelada, es claro que no puede formarse sino cuando el aire abandona el agua en las capas atmosféricas resfriadas hasta al grado de la conjelacion ó mas allá. Si la nieve atraviesa en su caida capas calientes de aire, es claro que se licuará antes de llegar á la superficie de la tierra: de aqui viene sin duda que jamas se vea nieve en la zona tórrida ni en los ardores de verano en los paises que habitamos á escepcion de los vértices de los montes muy elevados.

§ IV.

Del granizo.

1762. Se ha dado este nombre á unos pedazos de hielo de figura casi esférica, formados por gotas de lluvia que adquieren la solidez en el seno de la atmósfera y que caen en este estado en la superficie de la tierra.

1763. Desde luego parece natural que el granizo y las gotas de lluvia deberian ser á corta diferencia de la misma magnitud. Esto no es asi, las gotas de lluvia tienen por lo comun dos ó tres líneas de diámetro, algunas veces, pero muy pocas, diez ó doce. En cuanto al granizo se han visto pedazos que tenian un volúmen considerable y que cada uno pesaba mas de una libra.

Es fácil percibir la razon de esta diferencia. Las piedras del granizo tienen probablemente en el tiempo de su formacion la misma magnitud que las gotas de lluvia; pero, si se atiende á

que el granizo formado ya por un frio considerable hiela todas las moléculas acuosas que encuentra en su caida, se concebirá fácilmente como puede ser núcleo de una ó muchas capas de hielo, las que aumentarán considerablemente su volúmen y su peso. Lo que fortifica esta opinion es que el granizo jamas es de una densidad uniforme desde la superficie al centro.

1764. El calor y la transparencia del hielo son tan variables como su magnitud y figura. El granizo es comunmente opaco y blanquizco; raras veces tiene la transparencia del agua; su núcleo algunas veces es muy blanco, al paso que las capas sólidas que le rodean tienen una perfecta transparencia.

Todos conocen los terribles efectos del granizo: destroza los frutos y las mieses, rompe los árboles, hiere de muerte á los habitantes del aire, mata los rebaños que se hallan espuestos á su caida, hiere y muchas veces mortalmente á los hombres que tienen la desgracia de hallarse á descubierto cuando cae. Sus efectos serian aun mas terribles si la resistencia del aire no alterase considerablemente la velocidad que la pesadez le imprime.

1765. La caida del granizo está acompañada de algunas circunstancias que pueden aclarar mucho el mecanismo de su formacion. 1.º El tiempo es sombrio, oscuro y borrascoso. 2.º El granizo cae comunmente durante los fuertes ardores del verano y al fin del dia. 3.º La atmósfera es al mismo tiempo el teatro del granizo y del rayo. 4.º Se ha visto algunas veces caer granizo durante el invierno; pero entonces su caida ha sido señalada por la pronta aparicion de rayos y por el ruido formidable del trueno.

1766. El conocimiento de la causa física del granizo ha ejercitado en todos tiempos la sagacidad de los físicos.

Descartes pensó que las nubes en que se forma el granizo estan compuestas de partículas de agua muy pequeñas, de nieve ó de hielo las que se funden un poco y se reunen; un viento frio que sobreviene termina su conjelacion. *Muskembroeck* atribuye la formacion del hielo á ciertos átomos frigoríficos los que hallándose esparcidos en las regiones atmosféricas conjelan las gotas de lluvia.

Algunos físicos modernos piensan que el granizo toma su orígen en las capas muy elevadas de la atmósfera. Desde el momento que el aire abandona el agua que tiene en disolucion, y que las moléculas acuosas tienen bastante masa para vencer la resistencia del aire, se precipitan en virtud de la velocidad que la pesadez les imprime, y su caida es seguida de una evaporacion rápida que determina su conjelacion. Añádase á esto que la velocidad de la caida renueva continuamente su contacto con el disolvente, y le hace sufrir una fuerte compresion por parte de las capas atmosféricas que atraviesa.

1767. En fin *M. Volta* se ha entregado en estos últimos tiempos á indagaciones que ilustran mucho acerca la formacion del granizo. Esto no sucede comunmente sino en los grandes ardores del verano y en la caida de la tarde. La parte superior de la nube de donde viene la tempestad es entonces herida por rayos del sol muy vivos y ardientes en la hora y en los dias mas calorosos del año. Esta parte debe pues sufrir una evaporacion muy considerable. El aire seco que rodea la nube favorece esta operacion, el frio que produce es suficiente segun *Volta* para conjelar el agua.

1768. Pero ¿cómo los pedazos de hielo de muchas onzas pueden formarse en el aire, y por qué no caen antes de haber adquirido este peso? *M. Volta* supone dos nubes sobrepuestas á una cierta distancia la una de la otra y que tienen electricidades opuestas. El pequeño grano de hielo formado entre estas dos nubes es atraido y repelido por ellas alternativamente. Las gotas de lluvia que caen sobre este grano de hielo se conjelan en su superficie y aumentan sucesivamente su volúmen; en fin una de las nubes desalojadas por los vientos ó que pierda su electricidad por las sucesivas detonaciones del trueno deja de sostener el granizo y se precipita con mayor ó menor violencia.

M. Volta se ocupó despues en el conocimiento de la causa del pequeño granizo que se observa durante el invierno y particularmente en el principio de la primavera. Él lo mira como formado por la suspension y la repulsion de una sola nube fuertemen-

te electrizada. La fuérza atractiva y repulsiva de esta nube parece capaz de sostener algun tiempo en el aire las pequeñas gotas de agua que caen y que se conjelan por el frio que reina entonces en esta nube.

En invierno jamas se ve granizo y raras veces se oyen truenos. Esto sucede segun *Volta* porque en esta sazon jamas hay acumulacion suficiente de electricidad. La humedad que en este tiempo reina frecuentemente en la atmósfera, y la poca altura de las nubes son causa que el fluido eléctrico se transmita con facilidad al globo de la tierra. El agua conjelada por el frio cae en esta estacion en forma de nieve.

La electricidad de las nubes es mas fuerte en primavera, y el agua conjelada puede ser sostenida algun tiempo por ella en el aire y asi cae algunas veces en forma de pequeño granizo. En fin durante los ardores del verano las nubes estan fuertemente electrizadas, las unas en mas y las otras en menos; y en este caso es cuando se forma el granizo desastroso acompañado de esplosiones redobladas de truenos.

§ V.

Del rocio y del sereno.

1769. Llámase *rocio* á unas gotas de agua muy pequeñas que en los tiempos calientes se notan por la mañana encima las plantas, sobre los techos de los edificios, en una palabra, sobre todos los cuerpos que no siendo susceptibles de dejarse penetrar por el agua estan espuestos al influjo del aire atmosférico.

1770. Para concebir la formacion del rocio importa acordarse que el aire tiene la propiedad de disolver el agua, y que su facultad disolvente es en razon de la presion de la atmósfera y de su temperatura. Sentado esto, en la estacion de los rocíos los rayos solares ejercen una grande accion sobre la tierra que se calienta considerablemente, como tambien el aire que rodea su superficie; y este aumento de temperatura del aire durante la presencia del sol encima del horizonte, determina la disolucion de

una grande cantidad de agua; pero desde el momento que el sol abandona el horizonte baja la temperatura del aire y se disminuye su facultad disolvente; parte del agua que el aire caliente ha disuelto durante el dia es abandonada; las moléculas acuosas que han recobrado su libertad quedan suspendidas desde luego, sea por su ligereza, sea por un resto de atraccion para el aire en las capas inferiores de la atmósfera, y constituyen lo que se conoce con el nombre de *sereno*. Durante la noche la temperatura del aire sufre una disminucion progresiva, la que hace que este fluido aeriforme abandone sucesivamente toda el agua que ha disuelto durante el dia; y es fácil concebir que cuando la temperatura del aire ha llegado á su *maximum* de disminucion, es decir al momento en que el sol parece ó va á parecer sobre el horizonte, las moléculas acuosas son enteramente abandonadas á su pesadez, y obligadas á caer en la superficie de la tierra ó sobre los cuerpos que encuentran en su caida.

1771. Hay otra especie de rocío que no es producido por las moléculas acuosas que el aire disuelve durante el dia y abandona durante la noche. Este es formado por los vapores que transpiran los troncos, las ramas, las hojas de los vejetales, y se juntan en gotas. Basta para convencerse de esta verdad cubrir por la tarde una planta cualquiera con una campana de vidrio, ó de otro modo, y se halla por la mañana cubierta de rocío como lo son las plantas vecinas que han estado durante la noche espuestas al influjo del aire libre; y la campana de vidrio que ha servido para cubrir la planta está tambien cubierta de rocío que ha caido.

1772. *Dufay*, *Muskembroeck* y muchos otros físicos han hecho un grande número de observaciones mas ó menos interesantes relativamente al rocío. Resulta de los hechos que han recogido con cuidado y consignado en sus obras, que el rocío se depone sobre el vidrio y la porcelana con mas abundancia que sobre todos los demas cuerpos y que jamas se pega en los metales que han recibido la frotacion y pulimento de que son susceptibles. Para confirmar la exactitud de estos resultados, *Dufay* colocó en libre atmósfera durante la noche una salvilla de porcelana en medio

de un plato de plata y á su lado una salvilla de plata sobre un plato de porcelana. La salvilla de porcelana puesta encima el plato de plata se cubrió de rocío y el plato sobre el que estaba no presentó gota alguna, de otra parte el plato de porcelana que sostenia la salvilla de plata se cubrió enteramente de rocío y la salvilla no presentó humedad alguna.

1773. El rocío se disipa de dos modos, ó bien es absorvido por los cuerpos sobre los que se pone, cuando tienen con él mayor atraccion que el aire, ó se eleva de nuevo en las regiones atmosféricas cuando la presencia del sol en el horizonte, aumentando la temperatura del aire, le da la facultad de disolverle.

Cuando el rocío que cae en la superficie de la tierra la halla bastante fria para ser convertido en hielo, forma la *escarcha.* Si el rocío es abundante y pasa de nuevo á las capas inferiores de la atmósfera, altera comunmente su transparencia, y da origen á un metéoro conocido con el nombre de *niebla.*

Del sereno.

1774. Llámase asi la humedad que se manifiesta en la atmósfera durante las noches de verano una hora ó dos despues de haberse puesto el sol. Para concebir la formacion de este metéoro basta saber que el aire disuelve el agua y que su facultad disolvente aumenta en igualdad de circunstancias en razon de la temperatura. Sentado esto, cuando los rayos solares ejercen una fuerte accion sobre la tierra, esta se calienta considerablemente, asi como el aire que rodea su superficie; y este aumento de temperatura del aire durante la presencia del sol en el horizonte determina la disolucion de una grande cantidad de agua; pero desde el momento que el sol abandona el horizonte la temperatura del aire se hace menor, su facultad disolvente disminuye, parte del agua que el aire caliente ha disuelto durante el dia es abandonada, las moléculas que han recobrado su libertad se mantienen, sea por su ligereza, sea por un resto de atraccion con el aire en las capas inferiores de la atmósfera, y dan asi orígen al metéoro de que se trata.

§ VI.

De las trompas.

1775. El metéoro conocido con el nombre de *trompa* presenta el aspecto de un monton de vapores ó de una nube muy espesa que tiene la forma de un cono inverso, cuya base apoya sobre estas nubes de las que el cono está como suspendido.

Cuando la trompa se forma encima de la mar se ve elevarse de su superficie una masa de agua de figura cónica, cuyo eje se halla en la misma direccion que el del cono superior. Se oye un ruido semejante al de la mar brava, el agua se precipita de diversas partes de la trompa, y su caida es á menudo acompañada de un granizo abundante y de vientos impetuosos. Los terribles estragos que produce este metéoro son de tal modo conocidos de los marinos que desde el momento que ven una trompa hacen todos los esfuerzos para evitar el daño de su presencia. La submersion súbita de un navío casi siempre ha sido el premio de la temeridad de los pilotos que se han atrevido á arrostrar este formidable metéoro.

1776. Los físicos se han ocupado en conocer la causa de este metéoro; pero es menester confesar que estamos aun lejos de poder ofrecer una esplicacion satisfactoria.

Algunos físicos colocan las trompas en el órden de fenómenos eléctricos. *Brison* cita con este objeto un esperimento muy antiguo que es el que determinó su opinion. Se llena de agua un pequeño vaso metálico por ejemplo un dedal de coser, y se le presenta á algunas pulgadas de distancia un tubo electrizado por frotacion: al instante el agua del vaso se eleva hasta al momento de la aparicion de una chispa la que anuncia siempre la caida de la columna. Mientras el agua está asi suspendida se oye un ligero ruido y el lado del tubo mas inmediato al vaso se halla cubierto de pequeñas moléculas de agua. *Brison* cree ver en los fenómenos que acompañan este esperimento una imitacion perfecta de los que acompañan las trompas.

1777. Hay otra especie de trompa que se llama *trompa terrestre*, porque se forma en la superficie de la tierra. Las trompas terrestres son mas frecuentes que las marinas; pero producen estragos mucho mas desastrosos, porque arrancan los árboles, elevan los techos de los edificios, subvierten las casas y transportan á menudo sus fragmentos á grandes distancias.

CAPÍTULO III.

DE LOS METÉOROS LUMINOSOS.

PARRAFO PRIMERO.

Del arco iris.

1778. El *arco iris* es un metéoro que aunque comun no deja de ser notable y por consiguiente no es por esto menos digno de la atencion del físico. *Newton* ha dado en su óptica una esplicacion satisfactoria que ha sido despues casi enteramente desfigurada por la mayor parte de los físicos que nos la han querido transmitir. Asi es què las verdades se oscurecen á medida que se alejan del foco en que han tomado orígen y que para volverles su primitiva pureza muy á menudo es preciso volver á la época de su orígen.

1779. Para llegar á la verdadera esplicacion del fenómeno del arco iris examinemos lo que sucede á un rayo de luz homogéneo AB (fig. 154) que cae sobre una gota de agua perfectamente esférica BDFH; parte de este rayo entra en la gota aproximándose á la perpendicular BC segun la direccion BD; una vez ha llegado en D se descompone en dos partes de las que la una DE sale alejándose de la normal CD, la otra es reflejada en la direccion DF haciendo un ángulo de reflexion FDC igual al ángulo de incidencia CDB; el rayo encuentra pues segunda vez la superficie de la gota F; y de alli sale una parte segun la direccion FG, la otra es reflejada de nuevo hácia H, de donde sale aun una porcion segun HI; la otra que se refleja es de tal modo debilitada por tan-

tas reflexiones y refracciones que no da mas rayos sensibles. Aqui no nos ocupará el rayo DE que sale sin haber sido reflejado; este no puede venir al ojo sino mirando hácia al sol, y la luz de este astro impide el distinguirle.

1780. Supongamos entre tanto que muchos rayos saliendo del mismo punto, por ejemplo del centro del sol, y que podemos mirar como paralelos, caen sobre una gota de lluvia; estos dejan de ser paralelos asi que entran, y cada reflexion los hace mas diverjentes. Esta dispersion disminuye mas y mas su intensidad, y les impide de ser percibidos á una cierta distancia. Pero si los rayos mas vecinos salen paralelos, los que no son lejanos diverjiendo muy poco, no sufren grande disminucion por razon de distancia, y se pueden percibir; con este motivo les llamaremos *rayos eficaces.*

1781. Se puede por medio de un cálculo muy simple que se dará al fin de este capítulo, determinar el ángulo que los rayos emerjentes deben hacer con los rayos incidentes para ser eficaces; si en los resultados que obtendremos se supone que la relacion de los senos de incidencia y refraccion sea 108 á 81, lo que tiene lugar para los rayos rojos, y en seguida 109 á 81 para los rayos violados, se hallará que el ángulo buscado es 42 grados 2 minutos para los primeros, y 40 grados 17 minutos para los últimos, cuando los unos y los otros salen despues de una sola reflexion. Si al contrario estos ángulos han sufrido dos reflexiones, estos ángulos serán 50 grados 57 minutos para los rayos rojos, y 54 grados 7 minutos para los violados.

1782. Bajo estos principios sea un observador que vuelve la espalda al sol, y situado en el punto O (fig. 155) en un lugar en que llueva, se ven en *e*, E, *b*, B algunas gotas que reciben los rayos paralelos *de* DE *ab* AB. Cada uno de estos está compuesto de siete rayos heterogéneos que se separan al entrar en la gota con motivo de sus diferentes refranjibilidades y que se conducen despues como se ha dicho mas arriba. Tírese ahora por el punto O la línea OF paralela á los rayos del sol, y fórmese el ángulo FOE de 42 grados 12 minutos: la línea OE al hallar una

gota de lluvia E, hará con DE, el ángulo OED = FOE = 42 grados 2 minutos; luego los rayos rojos que hieren la gota segun DE saldrán eficaces segun OE, despues de una sola reflexion, y por consiguiente el espectador los referirá á E.

Si se hace volver la línea OE al rededor de OF, de modo que el ángulo FOE sea siempre el mismo, describirá la superficie de un cono, pero lo que se acaba de decir se aplica igualmente á todas las posiciones de la línea OE; luego si las gotas estan puestas en la superficie de este cono se verá un arco de este círculo rojo. Por la misma razon si se toma el ángulo FO*e* igual á 40 grados 17 minutos, y se hace girar O*e* al rededor de OF, su estremidad describirá un arco de círculo que nos parecerá violado, el rojo y el violado son los dos colores estremos; los demas se hallarán entre E y *e*, segun el órden de su refranjibilidad, de modo que los colores de este primer arco serán rojo, anaranjado amarillo, verde, azul, añil y violado.

Lo que precede se aplica igualmente á los rayos que salen despues de dos reflexiones; por consiguiente si se hace el ángulo FOB de 54 grados 7 minutos, y el ángulo FO*b* de 50 grados 57 minutos se verán en B los rayos violados y en *b* los rayos rojos, los colores intermedios estarán aqui arreglados entre B y *b* segun su grado de refranjibilidad, es decir en el órden siguiente: violado, añil, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo, se ve que en este segundo arco el órden de los colores es invertido; ademas estos colores son mucho mas débiles que en el primero porque los rayos emerjentes han sufrido una reflexion y una refraccion de mas; pero este segundo arco no se ve sino raras veces y cuando se halla detras de él una nube muy densa.

1783. Hasta aqui no se ha considerado mas que el sol ó centro del sol, pero cada punto de este astro arroja rayos que producen el mismo efecto; y como su diámetro aparente es de 32 minutos, se sigue que por los demas puntos de su superficie los rayos incidentes, y por consiguiente los rayos eficaces varían de 16 minutos por encima ó por debajo de la posicion que se les ha señalado; la latitud de cada color del arco iris se halla pues ser

de 32 minutos. En nuestra primera hipótesis la latitud de cada arco era la distancia del círculo rojo al círculo violado, es decir 1 grado 45 minutos para el primero y 3 grados 10 minutos para el segundo; es menester al mismo tiempo añadir 32 minutos, lo que da para las dos latitudes 2 grados 17 minutos, y 3 grados 42 minutos.

Newton verificó este resultado midiendo el arco interior con instrumentos exactos, y halló su latitud de 2 grados 10 minutos; la diferencia de 7 minutos que se halla entre el esperimento y la teoría seguramente viene de que los colores son muy débiles en los bordes del arco, de modo que no se pueden percibir. Se ve tambien que los colores del iris deben ser un poco confusos; porque para que fuesen separados seria preciso que el arco fuese á lo menos de siete veces 32 minutos ó de 3 grados 44 minutos de latitud, al paso que no tiene mas que 2 grados 17 minutos; pero no sucede lo mismo con el grande arco que tiene 3 grados 42 minutos de latitud.

1784. De lo que se acaba de esponer se sigue, que el arco iris tiene siempre el mismo valor, y que forma una porcion de círculo mayor ó menor segun la parte de la superficie cónica que se halla encima la tierra. Si por ejemplo el espectador se halla en el horizonte en el momento en que el sol se levanta, el eje del cono se hallará en el mismo plano, de modo que los dos arcos tendrán la forma de un semicírculo; á medida que el sol se levanta el eje se deprime bajo del horizonte, y el arco disminuye sucesivamente; en fin cuando el sol está elevado de 42 grados 2 minutos, la superficie del cono formada por los rayos rojos del pequeño arco sale tangente al horizonte y enteramente deja de ser visible. Lo mismo sucede con el grande arco cuando el sol está elevado 54 grados 7 minutos.

1785. Lo que precede da fácil esplicacion de algunos fenómenos cuyo cuadro voy á presentar.

1.º El arco iris jamas es mayor que un semicírculo para el observador colocado en la superficie de la tierra; no obstante si uno se halla en una alta montaña hallándose el sol en el hori-

zonte ó debajo de él, el eje del cono está muy elevado encima de este plano y se ve mas de un medio círculo; puédese aun ver un círculo entero si uno se halla muy elevado y la lluvia está cerca del observador.

2.° El arco iris muda de situacion al mismo tiempo que el espectador; porque los rayos colorados hacen siempre el mismo ángulo con una línea tirada desde el ojo al centro del sol; pero esta se mueve con paralelismo á sí misma; luego los rayos se mueven tambien del mismo modo, y por consiguiente conservan siempre la misma posicion relativamente al espectador. Síguese tambien de aqui que cada persona ve un arco iris diferente.

3.° No pareciendo el arco iris sino en los lugares en que llueve, si la lluvia es interrumpida sucederá lo mismo con el arco; por la misma razon sucede que sus piernas no llegan siempre hasta la tierra.

4.° Algunas veces, aunque raras, se ve un tercer arco concéntrico á los otros dos; pero sus colores son muy débiles, porque los rayos que le forman han sufrido tres reflexiones y tres refracciones.

5.° Los rayos del sol que caen sobre un lago espacioso, son reflejados hácia á las nubes; si entonces uno se halla en las circunstancias que se han espuesto se ve alli un arco iris. Será fácil á aquellos que han entendido la demostracion precedente ver que los colores deben estar por esto en órden inverso.

6.° Un surtidor de agua que eleve mucho el agua y caiga en lluvia menuda presenta á menudo el fenómeno del arco iris al observador que la mira volviendo la espalda al sol. El arco iris se forma tambien algunas veces por el rocío de las praderías, y aun sobre las ondas de la mar; es claro que para esto es menester que el ojo se halle en la direccion de los rayos eficaces.

7.° Puédese probar en algun modo con la esperiencia todo lo que se acaba de demostrar. Se suspenden á este fin globos delgados de vidrio llenos de agua de modo que las líneas tiradas por estos globos y el orificio de un cuarto oscuro hagan con los rayos solares los ángulos que se han determinado; se estiende despues

una cortina negra detras de los globos; y el espectador colocado en el orificio del cuarto ve un arco iris cuyos colores son muy vivos.

Determinacion de los ángulos que hacen los rayos eficaces con los rayos incidentes.

1786. Sean AB, *ab*, (fig. 156), dos rayos paralelos y muy inmediatos el uno al otro que caigan sobre una gota de agua perfectamente esférica BNHF. Para que salgan paralelos segun FG, *fg* despues de una sola reflexion, es menester que refrinjan en el mismo punto D de la superficie. En efecto siendo los arcos DF, D*f* iguales á DB, D*b*, sus diferencias F*f*, B*b* lo son tambien: ademas es claro que los ángulos de incidencia de los rayos que salen de la gota, siendo los mismos que los ángulos de refraccion de los que entran, los ángulos de refraccion en la salida de la gota son los mismos que los ángulos de incidencia al entrar, de modo que FG, *fg* hacen con CF, C*f* los mismos ángulos que AB, *ab* hacen con CB, C*b*; luego los rayos emerjentes hacen con la cuerda F*f* los mismos ángulos que los rayos incidentes con la cuerda B*b*; pero estos dos últimos son paralelos; luego FG y *fg* lo serán tambien, y los rayos serán eficaces.

Prolónguense AB, FG hasta P; para determinar el ángulo APG, prolongo *ab* hasta que encuentre la circunferencia en el punto O; del centro C bajo CL perpendicular á BN, CM perpendicular á BD y C*m* á *b*D, tomo C*n* = C*m*, y uno *mm*, *mn*.

Segun esta construccion, CL y CM son los senos de incidencia y de refraccion del rayo AB; C*l* y C*m* son los del rayo *ab*; luego

CL : C*l* : : CM : C*m* ó C*n*;

tomando la diferencia de los dos términos de cada razon, y representando por I : R la razon constante de los senos de incidencia y de refraccion se desprende

CL : CM : : L*l* : M*n* : : I : R.

Del punto B tírense B*o*, B*p* respectivamente perpendiculares

á bO, bD; la línea Mm dividiendo en dos partes iguales BD, bD es paralela á la base Bb del triángulo BDb, luego $Bb = 2Mm$, y con motivo de los triángulos semejantes Bbp, Mmn, $Bp = 2Mn$. Los ángulos bBp, CBM son iguales porque tienen el mismo complemento pBC; luego los triángulos rectángulos bBp, CBM son semejantes y se tiene

$$BC : Bb :: BM : Bp;$$

pero los triángulos semejantes bBo, CBL dan

$$BC : Bb :: BL : Bo;$$

luego á causa de la razon comun

$$BL : BM :: Bo : Bp :: Ll : 2Mn :: I : 2R :: CL : 2CM;$$

Elevando al cuadrado los dos primeros términos y los dos últimos de esta serie de cantidades proporcionales se tiene

$$\overline{BL}^2 : \overline{BM}^2 :: \overline{CL}^2 : 4\overline{CM}^2;$$

y tomando la suma de los antecedentes y de los consecuentes

$$\overline{BC}^2 : \overline{BC}^2 + 3\overline{CM}^2 :: \overline{BL}^2 : \overline{BM}^2 \text{ ó } \overline{BL}^2 + \overline{CL}^2 - \overline{CM}^2;$$

tomo en seguida la diferencia de los dos términos de cada razon lo que da, observando que $CL : CM :: I : R$

$$\overline{BC}^2 : \overline{BL}^2 :: 3\overline{CM}^2 : \overline{CL}^2 - \overline{CM}^2 \text{ ó } :: 3R^2 : I^2 - R^2.$$

Esta proporcion á la que se le pueden aplicar fácilmente los logaritmos, hará conocer el valor de BL; el de BM se deducirá en seguida por medio de la proporcion $BL : BM :: I : 2R$; bastará solo poner números convenientes en lugar de la razon $I : R$; en cuyo caso las tablas de los senos nos darán el valor de los arcos BM, BD y como el ángulo APG es el suplemento de $2BD - BN$, se determinará inmediatamente.

Para que los rayos que son dos veces reflejados en la gota salgan paralelos, es menester evidentemente (fig. 157) que sean paralelos despues de una sola reflexion; por lo demas el cálculo se

hace como en el primer caso; solo que como Bb es triplo de Mm, el último resultado es

$$\overline{BC}^2 : \overline{BL}^2 :: 8R^2 : I^2 - R^2$$

$$BL : BM :: I : 3R.$$

Se ve que seria fácil aplicarlo á un número cualquiera de reflexiones.

Del arco iris lunar.

1787. Se ha dado este nombre á un arco colorado que algunas veces se presenta al observador vuelto de espaldas á la luna y que tenga delante de sí un lugar en que llueva. La teoría de este fenómeno es la misma que la del arco iris solar; solo sí se ve que debe ser mucho mas débil con motivo de la poca intensidad de la luz que la luna nos envia; asi es que comunmente parece blanquizco y muy pocos dicen haber observado en él uno ó dos colores. Se ve tambien que en la oposicion de la luna con el sol es cuando mas se debe esperar percibirlo, porque entonces la luna nos envia mayor número de rayos.

Del arco iris marítimo.

1788. Llámase asi un arco pintado de algunos colores del iris, cuya convexidad está vuelta hácia abajo y que se manifiesta algunas veces sobre la mar en diferentes horas del dia. El arco iris marítimo parece bastante á menudo cuando la mar está muy agitada y cuando el viento elevando las olas hace que los rayos del sol que dan en su superficie, refrinjan y pinten en ellas los mismos colores que en las gotas comunes de agua. *Bowezes* observa en las *transacciones filosóficas* que los colores del arco iris marítimo son menos vivos, menos distintos y de menor duracion que los del arco iris comun, y que apenas se distinguen en él dos colores, á saber el amarillo del lado del sol y un verde pálido por el lado opuesto.

Del arco iris terrestre.

1789. Este es un arco colorado que se percibe sobre una pradería ó sobre un campo que se mire de un lugar un poco elevado, algun tiempo despues de haber salido el sol, poco antes de ponerse. Este fenómeno es del mismo modo que el arco iris un efecto de la luz refrinjida y reflejada por las gotas de rocio ó de lluvia que mojan la hierba de la pradería.

§ II.

De las parelias, paraselenes y coronas.

De las parelias.

1790. Se da el nombre de parelia á un meteoro que presenta bajo una luz brillante una ó muchas imágenes del sol, y que se manifiesta siempre al mismo tiempo que este astro.

La-Hire observó en Paris dos parelias en 1683; y *Maraldi* observó muchas en 1721. *Gray* y *Atley* vieron en Inglaterra muchas parelias cuya descripcion encierran las transacciones filosóficas. *Schinerus* observó en Roma muchas parelias acompañadas de circunstancias bastante particulares para ejercitar la sagacidad de *Descartes* y de *Huygens*. *Hevelius* notó en Danzich en 1661, el sol acompañado de seis imágenes solares que le pusieron lleno de admiracion y sorpresa. *M. Patrin* observó en Siberia muchas parelias de las que la una le presentó el aspecto del astro del dia acompañado de dos imágenes, y cada una de estas estaba terminada de un cono luminoso, cuya base tocaba al sol.

1791. Las parelias parecen siempre tan grandes como el sol cuya imágen representan; pero su figura no es tan exactamente esférica, la brillantez de las parelias no es jamas tan intensa como la del sol. Su contorno esterior presenta los mismos colores que el arco iris. Muchas parelias terminan por una cola cuya brillantez es menos viva que la de la misma parelia.

1792. Las parelias son á menudo acompañadas de círculos de

los que unos son blancos y otros se presentan con los colores del iris; estos círculos se diferencian á menudo en número, algunos tienen el sol en su centro; son colorados y su diámetro varía desde 43 hasta 90 grados. El plano de estos círculos es perpendicular á una línea recta que se suponga tirada del ojo del espectador al centro del sol: de que se sigue que su posicion es diferente segun la diferente elevacion del sol sobre el horizonte. Cuanto mas vivos son los colores de estos círculos tanto mas débil parece la luz solar. Se les notan aun otros círculos paralelos al horizonte; el uno entre ellos que es comunmente blanco y que tiene segun *Hevelius* un diámetro de 130 grados, encierra todas las imágenes del sol; su centro es en el zenit del espectador.

1793. El órden de los colores en los círculos colorados es el mismo que en el arco iris; pero el color rojo se halla en la parte interior que mira al sol.

1794. *Hevelius*, *Huygens*, *Casini*, *Muskembroeck* etc., han observado constantemente que en la época de la aparicion de las parelias el tiempo no es jamas sereno; pequeñas nubes suspendidas en la atmósfera á alguna distancia las unas de las otras alteran comunmente su transparencia.

1795. Las parelias se manifiestan á menudo en invierno cuando sopla el viento norte.

1796. La duracion de la aparicion de las parelias es de una, dos, tres, y aun cuatro horas.

1797. Cuando las parelias desaparecen cae comunmente lluvia, y aun algunas veces nieve bajo la forma de pequeñas agujas.

1798. *Muskembroeck* ha reunido todas estas circunstancias, y parece que concurren á probar que las parelias son formadas por la reflexion de los rayos del sol sobre una nube que le está opuesta de cierto modo.

De las paraselenes.

1799. Se ha dado este nombre á un metéoro que ofrece el espectáculo de una ó muchas imágenes de la luna.

1800. Este metéoro se presenta bajo la forma de un anillo lu-

minoso que deja percibir algunas veces una imágen aparente de la luna y otras dos.

1801. Parece que el origen de este meteoro es muy antiguo. *Plinio* hace mencion de tres lunas que se vieron en el año 632 de la fundacion de Roma. *Eutropo* y *Euspiniano* aseguran que se habian visto tres lunas en Rimini el año 244 antes de J. C.: despues de esta época se han manifestado en la atmósfera muchos otros fenómenos semejantes de que *Goreyus* trata en su tratado de parelias. *Casini* habla de una paraselene que observó en Francia en 1693. Esta paraselene no tenia círculo alguno. *Fouchi* observó otra en la noche del 7 al 8 de mayo de 1735 la que estaba acompañada de dos círculos luminosos.

1802. La causa que da origen á las paraselenes es la misma que la que produce las parelias.

De las coronas.

1803. Llámase asi un meteoro formado por uno ó muchos círculos luminosos de que los astros parecen rodeados. Hay coronas sin color y otras coloradas. Estas presentan á corta diferencia los colores del arco iris interior, es decir que el rojo parece en la concavidad de la corona, y el violado en las inmediaciones de su convexidad.

1804. Estas coronas se manifiestan lo mas comun en lo interior de la luna: dependen como el arco iris de la refraccion que sufren los rayos solares en las moléculas acuosas dispersadas por la atmósfera. Hay no obstante la diferencia que en el arco iris hay la reflexion y refraccion de los rayos, y que en las coronas no hay mas que refraccion.

1805. Lo que confirma esta esplicacion es que si se mira una vela encendida al traves del vapor que exala el agua caliente contenida en un vaso situado entre la vela y el ojo, se ve al rededor de la llama una corona colorada. Se obtiene un efecto semejante si se mira una vela encendida al traves de un pedazo de vidrio bien pulido y empañado por pequeñas gotas de agua.

CAPÍTULO IV.

DE LOS METÉOROS ÍGNEOS.

PARRAFO PRIMERO.

Del relámpago, del rayo y del trueno.

Del relámpago.

1806. Llámase *relámpago* una luz viva que parece súbitamente y que desaparece con la misma prontitud la que precede comunmente al trueno.

Puédese por la duracion del tiempo que media entre el relámpago y el ruido del trueno juzgar á poca diferencia de la distancia en que ha estallado el rayo. Para esto se examina con un péndulo de segundos el intervalo que media entre el relámpago y el ruido; y para determinar la distancia en que se ha verificado el relámpago se toma tantas veces 173 toesas (0,0346 miriam.) cuantos segundos se han pasado ó han mediado entre el ruido y la ráfaga luminosa. Este método está fundado en que la propagacion del fluido luminoso es casi instantánea, al paso que el sonido no corre mas que 173 toesas (0,0346 miriam.) en un segundo. Por lo demas es claro que este medio no es exacto, porque ademas que un pequeño error en la observacion del tiempo produce uno de muchas toesas, supone que el ruido del trueno se propaga siempre directamente, y jamas por reflexion, lo que es falso.

Del rayo y del trueno.

1807. El rayo es una materia inflamada que en ciertas circunstancias parece arrojarse del seno de las nubes con una esplosion mas ó menos fuerte que constituye el trueno.

1808. Comunmente se confunde el trueno con el rayo; de aqui las espresiones vulgares *el trueno ha caido; el trueno ha producido grandes estragos*. Para hablar con mayor exactitud

es menester decir *ha caido un rayo*, *el rayo ha producido grandes estragos:* porque es claro que el ruido que solo constituye el trueno no puede producir un efecto físico; lo único que puede producir es en las almas débiles y tímidas el terror y el espanto.

1809. El fenómeno que nos ocupa ha escitado en todos tiempos la sagacidad de los físicos los que se han fatigado en inventar conjeturas acerca de la causa que lo produce, hasta la época que *Franklin* ha probado que hay una verdadera analogía entre el rayo, el trueno, los relámpagos y los fenómenos eléctricos. La opinion de *Franklin* ha sido adoptada con una especie de entusiasmo por la mayor parte de los físicos, y en el dia no hay uno que no repita con confianza que el trueno no es otra cosa que una grande electricidad producida por la naturaleza en el seno de la atmósfera.

Esta esplicacion es vaga é insignificante. No se puede concebir el trueno sino por una esplosion la que me parece resultar de la combinacion instantánea de una mezcla de gas oxigeno y de gas hidrógeno que inflama la chispa eléctrica en las regiones atmosféricas que son el teatro del rayo. (Véase el articulo que trata de la lluvia de tempestad).

Algunos físicos han querido imitar el trueno al ausilio de nuestras máquinas; estos han confundido el ruido formidable que se oye en tiempos borrascosos con algunos chasquidos y ligeras esplosiones que produce la descarga de una botella. Mejor instruidos sobre la causa que produce este fenómeno se imita en el dia el espantoso ruido del trueno haciendo pasar la chispa eléctrica al traves de una serie de pistolas de *Volta* cargadas de una mezcla proporcionada de gas oxígeno y de gas hidrógeno.

1810. Lo que mas nos importa conocer son los medios mas propios para libertarnos de los terribles efectos del rayo.

Estos medios estan fundados en dos principios generalmente conocidos, es á saber, 1.º que las puntas tienen la propiedad de atraer sin esplosion desde una grande distancia el fluido eléctrico acumulado en la superficie de un conductor, el que se descarga completamente; al paso que presentándole un cuerpo redondo

sucede que aunque esté situado á una menor distancia el fluido eléctrico pasa con esplosion, y que esto no obstante el conductor no se descarga del todo.

2.º La materia eléctrica busca con preferencia los buenos conductores metálicos; y cuando los alcanza corre continuamente segun la direccion que ellos le dan; de modo que si la conducen al agua ó á tierra húmeda, este fluido tan temible cuando está concentrado, se disipa pacíficamente y recobra el equilibrio cuya pérdida le hacia tan nocivo. En estos principios está fundada la construccion del pararayos.

1811. En cuanto al medio de libertarse del rayo cuando uno se halla durante la tempestad en una casa sin pararayo es menester 1.º alejarse de los lugares en que hay cuerpos metálicos, tales como una chimenea, cuadros dorados, rejas, puertas, ventanas; 2.º colocarse ó sentarse en medio de una sala sobre algun mueble mal conductor, por ejemplo una silla vieja de madera muy seca. Seria mas seguro segun *Franklin* hacer traer dos ó tres colchones al medio de la sala, hacerlos doblar y colocar encima una silla; porque como estos no son conductores tan buenos como las paredes el rayo no tomará con preferencia un curso interrumpido al traves del cuarto y de las camas, al paso que puede continuar su camino á lo largo de la pared que es mejor conductor. Pero si se puede procurar una hamaca ó una cama suspendida con cordones de seda á igual distancia de las cuatro paredes del techo y del piso se tendrá la situacion mas segura que se pueda tomar en cualquiera sala en que uno sè halle, y que parece en efecto que debe libertar de todo riesgo de parte del rayo.

Cuando uno se halla sorprendido por la tempestad fuera de poblado y lejos de toda habitacion el mejor partido que hay que tomar es aproximarse si es posible á una cierta distancia de los árboles mas elevados que se hallen en la inmediacion; es menester no obstante no colocarse demasiado inmediato, sí solo á 5 ó 6 metros (14 ó 18 pies) de las ramas largas; porque si cae un rayo es verosimil que dará con preferencia en los árboles; y si esto sucede se hallará uno alejado una distancia suficiente para libertarse del peligro.

§ II.

De las estrellas cadentes y de los globos de fuego.

1812. Se ha dado el nombre de estrella *cadente* á un pequeño globo que difunde una luz mas ó menos viva, y que se ve correr por el seno de la atmósfera. El espectáculo que presenta este metéoro es bastante parecido al que ofreceria el aspecto de una estrella que desprendiéndose de la bóveda celeste se precipitase á la superficie de la tierra, y esta semejanza es sin duda la que le ha hecho dar el nombre de *estrella cadente*.

Existen probablemente en las altas regiones de la atmósfera grandes masas de gas hidrógeno, cuya inflamacion determinada por el restablecimiento del equilibrio del fluido eléctrico da origen á las estrellas cadentes como tambien á estos rastros de luz que se manifiestan por lo comun durante los ardores de verano.

De los globos de fuego.

1813. Este es el nombre de un metéoro inflamado que se manifiesta en la atmósfera bajo la forma de un globo animado de un movimiento muy rápido y comunmente acompañado de una cola luminosa.

Esta especie de metéoro es bastante frecuente: se ha visto alguno cuyo diámetro era igual al de la luna al lleno, y cuya cola luminosa tenia la longitud de 7 ú 8 veces el diámetro del globo. En su curso rápido estos globos revientan, por lo comun se sienten terribles esplosiones y arrojan piedras en la superficie de la tierra.

§ III.

De las auroras boreales.

1814. Se llama *aurora boreal* un metéoro luminoso que se manifiesta comunmente en la parte del norte, cuya luz cuando la aurora es vecina al oriente, se parece á la de la aurora.

1815. Los primeros conocimientos adquiridos de este metéoro se pierden en los mas remotos siglos. Los escritos de Aristóteles, de Plinio, de Séneca etc., ofrecen pasages señalados de su existencia. Debemos á autores mas modernos tales como *Mairan* y *Muskembroeck* descripciones bien circunstanciadas de este metéoro. Resulta de sus frecuentes observaciones, que las auroras boreales no parecen sino muy raras veces en la parte mas cultivada de Europa que es la mas lejana del polo; que si alguna vez esta luz brilla hácia al mediodia tiene siempre su orígen hácia al norte, y que de consiguiente se debe mirar el polo boreal como el foco de las auroras boreales.

1816. Este metéoro se manifiesta por lo comun dos, tres ó cuatro horas por lo mas despues de puesto el sol, es decir, que sucede casi siempre por la noche y casi nunca por la mañana despues de media noche cuando las noches son un poco largas. Las grandes auroras boreales empiezan comunmente poco tiempo despues del fin del crepúsculo, y algunas veces antes.

Se percibe desde el principio hácia á la parte del septentrion una especie de niebla oscura, hácia al oeste un poco mas clara que en el resto del cielo, es decir mas de lo que comunmente se ve con relacion á la hora del crepúsculo.

La niebla septentrional se arregla comunmente bajo la forma de segmento de círculo tendido sobre el horizonte, ó del que el horizonte es la cuerda. La parte visible de su circunferencia se halla luego ribeteada de una luz blanquizca, de que resulta un arco luminoso ó muchos arcos concéntricos; algunas veces el primero está ribeteado por una parte de la materia oscura del interior del segmento, y esta lo es á su turno de una materia luminosa; y asi en seguida hasta dos ó tres.

Vienen despues los chorros y los rayos luminosos diversamente colorados, los que salen del arco, ó mas bien del segmento oscuro y nebuloso en donde hay casi siempre una brecha iluminada de la que parece salen los rayos.

Cuando el metéoro se va haciendo mas grande y que debe difundirse á una grande distancia, se percibe un movimiento ge-

neral y una especie de movimiento turbulento en toda su masa, tanto con motivo de las frecuentes brechas que se forman y se destruyen sucesivamente en el segmento oscuro y en el arco, como por las vibraciones de la luz y los relámpagos de que es el hogar esta masa encendida.

Solo despues de este incendio, y por una grande estension de la materia boreal se ve al zenit una especie de corona ó punto de reunion en que parecen concurrir todos los movimientos del rededor, y que hace como la llave de una bóveda ó como algunos lo han espresado el vértice del pavellon de una tienda. Este es el instante en que el meteoro se demuestra con la mayor magnificencia, tanto por la variedad de los objetos como por la hermosura de los colores de que estan pintados la mayor parte. Disminuye despues en magnitud y claridad y acaba por estinguirse no á la verdad sin nuevas apariciones que vuelven á manifestar alguna vez el espectáculo de las barras luminosas, de relámpagos, de coronas y de colores mas ó menos vivos que parecen volar por la atmósfera. Cesa en fin el movimiento, la luz se aproxima mas y mas al horizonte, deja las regiones meridionales orientales y occidentales del cielo para fijarse hácia el norte. El segmento oscuro se disipa y vuelve á parecer luminoso: desde entonces se manifiesta una luz bastante viva cerca del horizonte y menos viva algunos grados encima que se pierde insensiblemente en el cielo, que disminuye algunas veces con rapidez, otras con lentitud, y que se ve al fin desaparecer enteramente sino se une con el crepúsculo de la mañana.

1817. *Mairan* atribuia las auroras boreales á la atmósfera solar prolongada hácia la tierra. Esta esplicacion fue al principio adoptada con una especie de entusiasmo, en el dia no es mas admisible porque parece bien probado que la atmósfera solar no puede estenderse hasta la atmósfera de la tierra.

La mayor parte de los físicos repiten en el dia de un modo vago é insignificante que las auroras boreales no son otra cosa que fenómenos eléctricos.

1818. Veamos si se puede esplicar este meteoro de un modo

mas satisfactorio separando la causas que se complican en su produccion.

Primer principio.

1819. Si se escita una chispa eléctrica dentro de una mezcla de gas nitrógeno y de gas oxígeno, resulta ácido nítrico, ácido nitroso ó gas nitroso segun la razon que hay entre el gas oxígeno y el gas nitrógeno que componen la mezcla.

Segundo principio.

1820. El ácido nítrico espuesto al sol toma mayor color y volatilidad: *Scheele* fue el primero que observó este fenómeno, el que ha fijado tambien mi atencion. Puse un recipiente sobre una copa que contenia ácido nítrico y espuesta á la accion de los rayos solares algunos minutos, despues el ácido se coloró y el recipiente se llenó de vapores rojos y volátiles que se sostuvieron por largo tiempo difundiendo una luz semejante á la de las auroras boreales.

Tercer principio.

1821. En los frascos que contienen ácido nitroso se percibe siempre encima del ácido un vapor rojo y volátil que no se condensa jamas.

Cuarto principio.

1822. El gas nitroso en contacto con el aire atmosférico exala vapores rutilantes que marchan á la atmósfera.

Quinto principio.

1823. El gas hidrógeno que se separa de la superficie del globo va á ocupar en las regiones de la atmósfera un lugar señalado por su gravedad específica.

Sexto principio.

1824. El calor solar tiene poca actividad en las regiones polares.

Todos estos principios se afianzan en observaciones y esperi-

mentos hechos con la mayor exactitud. Darles aqui toda la estension de que son susceptibles seria repetir hechos y raciocinios que estan suficientemente espuestos en los correspondientes artículos de esta obra.

1825. Una simple combinacion de estos principios hace ver, 1.° que la produccion del gas hidrógeno es casi nula en las regiones polares; 2.° que las altas regiones de la atmósfera polar no contienen mas que muy poco ó nada de gas hidrógeno; 3.° que todas las veces que hay restablecimiento de equilibrio de fluido eléctrico en la atmósfera polar, este fluido no puede hallar en su paso mas que una mezcla de gas nitrógeno y de gas oxígeno; 4.° que la chispa eléctrica debe fijar y combinar estas sustancias gaseosas; 5.° que de esta combinacion debe resultar una produccion de ácido nítrico, de ácido nitroso ó de gas nitroso, segun la razon que hay entre el gas oxígeno y el gas nitrógeno que componen la mezcla; 6.° que la produccion del ácido nítrico, del ácido nitroso debe producir los vapores rojos y volátiles que se elevan en la atmósfera para formar alli el meteóro conocido con el nombre de *aurora boreal*.

1826. Pero se dirá, si las auroras boreales tienen su origen en la combinacion del gas nitrógeno y del gas oxígeno producida por el restablecimiento de equilibrio del fluido eléctrico, por qué las auroras boreales no se forman jamas en la zona tórrida ni en las zonas templadas en que se hallan reunidos en la atmósfera los tres elementos que concurren á la produccion del ácido nítrico, del ácido nitroso y del gas nitroso?

La respuesta á esta objecion es muy simple. En las zonas templadas particularmente en la zona tórrida, el calor solar tiene mucha actividad y duracion, de que debe resultar en estas partes una separacion considerable de gas hidrógeno, el que no pudiendo ser descompuesto por el aire comun se eleva en virtud de su ligereza en las altas regiones de la atmósfera. Sucede pues en las zonas tórrida y templadas, siempre que hay restablecimiento de equilibrio de fluido eléctrico, sucede digo que la chispa eléctrica halla en la atmósfera una mezcla de gas nitrógeno y de gas

oxígeno, y una mezcla de gas oxígeno y de gas hidrógeno. La esperiencia prueba que la chispa eléctrica fija y combina con preferencia los gases que componen la segunda mezcla. Esta combinacion está siempre acompañada de una detonacion y de una produccion de agua proporcional á la cantidad de fluidos gaseosos sobre los que ejerce su actividad la chispa eléctrica.

Esto es lo que sucede en las zonas tórrida y templadas. El restablecimiento de equilibrio del fluido eléctrico fija la mezcla de gas hidrógeno y de gas oxígeno que se halla en la atmósfera. El trueno, el rayo y la lluvia son el efecto instantáneo de esta combinacion. No sucede asi en las regiones polares: cuando en estas partes hay restablecimiento de equilibrio de fluido eléctrico, la chispa eléctrica no halla gas hidrógeno en las altas regiones de la atmósfera, debe pues dirigir toda su actividad sobre una mezcla de gas nitrógeno y de gas oxígeno: de aqui la produccion del ácido nítrico, del ácido nitroso ó del gas nitroso segun la razon que hay entre el gas oxígeno y el gas nitrógeno que componen la mezcla: de aqui tambien la formacion de estos vapores rutilantes que dan orígen á las auroras boreales.

1827. Combinando esta esplicacion de las auroras boreales con la que se ha dado del trueno y de las lluvias de tempestad se concibe claramente; 1.° porque los polos son la morada esclusiva de las auroras boreales; 2.° porque el rayo jamas se observa en las regiones polares (1); 3.° porque las zonas tórrida y templadas son el teatro favorito del rayo; 4.° porque las tempestades son mas comunes y mas violentas en la zona tórrida que en las zonas templadas.

Examinemos un instante los fenómenos que acompañan las auroras boreales, y veamos si se acomodan con facilidad á la hipótesis que proponemos para esplicar este meteoro.

1828. *Primer fenómeno.* Las auroras boreales son algunas veces acompañadas de ligeras detonaciones.

---

(1) *Jamas truena en la Groenlandia ni en la bahia de Hudson* (Muskembroeck, *tom. III, pág.* 414).

En las regiones polares la produccion del gas hidrógeno es casi nula en la razon de la poca actividad del calor solar. Con todo es cierto que en verano la larga duracion de la presencia del sol sobre el horizonte causa alli un calor bastante considerable para promover la separacion de algunas ampollas de gas hidrógeno que se elevan en las altas regiones de la atmósfera polar; de que resulta que si el restablecimiento de equilibrio del fluido eléctrico tiene lugar en la atmósfera polar, cuando sus capas superiores contienen esta sustancia gaseosa, la chispa eléctrica debe ejercer en ella parte de su actividad y producir alli ligeras detonaciones.

1829. *Segundo fenómeno.* La mayor parte de las auroras boreales parece moverse del norte hácia al sud; se ven no obstante algunas cuyo movimiento se dirige hácia al oriente ú occidente.

El ácido nítrico, el ácido nitroso y el gas nitroso que producen auroras boreales, tienen su orígen hácia á los polos. Estas sustancias exalan vapores rutilantes los que elevándose en la atmósfera deben dirigir su movimiento hácia al lugar que les presenta menos resistencia, de que se sigue que los vapores que se exalan deben tender hácia al mediodia, en donde el aire siempre menos denso que en el norte, les ofrece un paso mas libre y fácil. Puede suceder tambien que al mismo tiempo que se forman los vapores rutilantes, un viento del norte que sople en la region superior de la atmósfera, les dé una fuerte impulsion que determine su movimiento, unas veces hácia al mediodia, otras hácia al oriente y otras hácia al occidente.

1830. *Tercer fenómeno.* Las auroras boreales se presentan algunas veces bajo la forma de columnas luminosas que tienen diferentes figuras y diferentes direcciones. Las unas son piramidales, las otras cilíndricas; se ven algunas que son encorvadas en forma de arco. Cuando son impelidas con mucha actividad marchan hasta al zenit del espectador. Aquellas cuyo movimiento es aun mas rápido van mas allá del zenit y algunas veces hasta el horizonte meridional. Las auroras no suben siempre directamente

desde el centro de la nube hácia al zenit del espectador, sino que toman algunas veces una direccion lateral, sobre todo si la nube que les da orígen se halla suspendida entre el norte, el oriente y occidente.

Cuando el restablecimiento de equilibrio del fluido eléctrico fija y combina una grande cantidad de gas nitrógeno y de gas oxígeno, los vapores rutilantes que resultan de esta combinacion deben ocupar un grande espacio en la atmósfera. Estos vapores de una estension considerable, arrojados del norte al sud, deben algunas veces separarse, tomar diversas direcciones y marchar unas veces perpendicularmente, otras con direccion horizontal, y otras oblicua al paralelismo de la tierra; de que se sigue que las auroras boreales deben alguna vez presentarse á los ojos del observador bajo la forma de columnas, cuyo número, figura y direccion se determinan por las circunstancias. Puede tambien suceder que estas columnas luminosas queden algun tiempo inmóviles con relacion al horizonte. Esto debe suceder siempre que un viento del norte arroje la nube luminosa hácia una parte cualquiera del sud, con la misma fuerza que las exalaciones delaire son impelidas hácia ella por un viento del mediodia.

1831. *Cuarto fenómeno.* Las auroras boreales no brillan todas con una claridad igual: unas despiden una luz suave y tranquila, otras brillan con una claridad muy resplandeciente.

Los vapores que se separan del ácido nítrico espuesto á la actividad de los rayos del sol, difunden una luz suave de un rojo claro que tira á amarillo; los que se aperciben encima del ácido nitroso son de un rojo bajo; los que exala el gas nitroso en contacto con el aire atmosférico, son al principio de un rojo bastante bajo, el que se hace en seguida tanto mas claro cuanto estos vapores se estienden mas por la atmósfera. Las columnas ó barras luminosas que presentan las auroras boreales tendrán pues diferentes colores, segun que los vapores rutilantes toman origen en la formacion del ácido nítrico, del ácido nitroso, y del gas nitroso.

1832. Algunos físicos atribuyen aun las auroras boreales á la

materia eléctrica, la que segun ellos marcha de todas partes hácia los polos cuando las circunstancias favorables á su espansibilidad le permiten elevarse hasta las capas superiores de la atmósfera.

Esperimento. Se toma una botella que tenga poco mas ó menos la figura y la magnitud de un frasco, se coloca una válvula ó una llave en su cuello; se le estrae el aire con la mayor exactitud que se pueda; se presenta despues el vientre de la botella al conductor electrizado; se ve brillar interiormente y difundir una luz semejante á la de las auroras boreales.

Este es el esperimento en que se funda el siguiente raciocinio: la luz de los fuegos eléctricos imita la luz de las auroras boreales; luego la electricidad es causa de este metéoro.

1833. Para poner de manifiesto la falsedad de esta conclusion, conviene notar, 1.º que en el esperimento que se acaba de describir, si se estrae el aire tan exactamente como posible sea, el interior de la botella difunde una luz semejante á la de las auroras boreales; 2.º que si el vacío no está bien hecho, el interior de dicha botella da una luz muy débil; 3.º que no se percibe absolutamente luz alguna en la botella, cuando se presenta al conductor electrizado antes de haber estraido el aire. De que resulta que el fluido eléctrico no puede difundir luz resplandeciente, sino cuando se mueve en el vacío, y que de consiguiente si la electricidad produce las auroras boreales, es menester que este metéoro se produzca fuera de nuestra atmósfera; pero lejos de ser probable que las auroras boreales se formen á tan grande distancia, es al contrario muy verosimil que el lugar de su origen no está muy lejano de nosotros, 1.º porque este metéoro parece bajo la forma de una nube semejante á las demas que cada dia vemos transportarse por la atmósfera; 2.º porque sucede bastante á menudo que no se puede observar una aurora boreal de dos lugares diferentes, aunque poco lejanos el uno del otro; 3.º porque las auroras boreales son algunas veces acompañadas de ligeras detonaciones que son sensibles en la superficie de la tierra, y que seria imposible oirlas, si este metéoro se formase mas allá de nuestra atmósfera; 4.º sucede alguna vez que la nube luminosa se

mantiene fija durante un cierto tiempo, en la misma altura encima del horizonte; lo que indica que participa del movimiento que anima la atmósfera, y de consiguiente que las auroras boreales tienen su orígen en el seno de la atmósfera.

Todos estos fundamentos se fortifican por el testimonio de los físicos que han observado con el mayor cuidado el metéoro de que se trata. *Muskembroeck* atestigua altamente que las auroras boreales tienen su orígen en la atmósfera. *Kraff* quien en el espacio de once años ha observado 141 auroras boreales, pretende que este metéoro es acompañado de fenómenos que hacen creer que la atmósfera es la sede de estos metéoros.

1834. Parece pues que las auroras boreales tienen su sitio en la atmósfera; y si esto es verdadero, pues que la materia eléctrica no brilla sino cuando se mueve en el vacío, es menester concluir que la electricidad no puede ser la causa de las auroras boreales y que no influyen su existencia sino en cuanto fija las sustancias aeriformes, cuya combinacion produce este metéoro.

1835. Pero confesando que las auroras boreales se forman fuera de nuestra atmósfera, y que bajo este respecto pueden tener por causa la electricidad, ¿cómo se podrán esplicar en esta hipótesis las circunstancias que acompañan á este metéoro?

1.° El fluido eléctrico que se mueve en el vacío, esparce es cierto una luz resplandeciente; pero este fenómeno no es acompañado de ruido alguno ni de detonacion. ¿Cuál será pues la causa de estas ligeras esplosiones que se oyen durante la aparicion de ciertas auroras boreales, si este metéoro es producido por el fluido eléctrico que se mueve en el vacío, encima de la atmósfera?

2.° Si las auroras boreales reconocen por causa el fluido eléctrico que se eleva sobre la atmósfera, parece que deben ser mas frecuentes y mas vivas en las regiones en que obran con mas actividad las causas propias para favorecer su espansibilidad y su elevacion encima de la atmósfera; pero, 1.° en la atmósfera de la zona tórrida el fluido eléctrico es mas abundante que en la atmósfera polar, porque en estas regiones sin cesar se eleva una grande cantidad de vapores que se llevan el fluido eléctrico de la

tierra segun los esperimentos de *Sausure*, confirmados por *Lavoisier*; 2.° las causas propias para favorecer la espansibilidad del fluido eléctrico, y su elevacion sobre la atmósfera, tienen mayor fuerza y energía en la zona tórrida que en la zona glacial: porque en la zona tórrida el calor es estremo, y por consiguiente el aire mas dilatado. Un calor estremo favorece la espansibilidad del fluido eléctrico, una grande dilatacion del aire facilita su elevacion encima de la atmósfera: de que se sigue que las auroras boreales deberian ser mas frecuentes y mas vivas en la zona tórrida que en la zona glacial, si debiesen su existencia á la materia eléctrica. Si estas consecuencias son justas, ¿cómo podrán conciliarse con la aparicion esclusiva de las auroras boreales en las regiones polares?

§ IV.

De la luz zodiacal.

1836. Llámase *luz zodiacal* una luz débil que tiene comunmente la figura de un cono cuya base está vuelta hácia el sol, y el vértice hácia al zodíaco. Esta luz aparece particularmente hácia fines del invierno ó al principio de la primavera, casi nunca durante el otoño; algunas veces se ve antes de salir el sol, otras despues de haberse puesto. En fin es mas visible en los pueblos situados entre los trópicos que en los que estan situados en las inmediaciones de los polos.

1837. El célebre *Mairan* se ocupó mucho en este fenómeno, y sus indagaciones le condujeron á mirar la luz zodiacal como una porcion de la atmósfera solar prolongada hácia la tierra. Pero esta esplicacion á que los físicos se han acogido con entusiasmo, me parece que debe quedar destruida por una observacion que *M. Laplace* anunció del siguiente modo, en su esposicion del sistema del mundo.

1838. La atmósfera no puede estenderse al ecuador sino hasta al punto en que la fuerza centrífuga se equilibra exactamente con la pesadez; porque es claro que mas allá de este límite el

fluido debe disiparse. Relativamente al sol, este punto está alejado de su centro el radio de la órbita de un planeta que hiciese su revolucion en un tiempo igual al de la rotacion del sol. La atmósfera solar no se estiende pues hasta á la órbita de mercurio, y de consiguiente no produce la luz zodiacal que parece estenderse aun mas allá de la órbita de la tierra. Ademas esta atmósfera en que el eje de los polos debe ser á lo menos los dos tercios del de su ecuador, está muy distante de tener la forma lenticular que las observaciones dan á la luz zodiacal.

§ V.

De las aerolitas ó piedras caidas del cielo.

1839. El orígen de esta especie de piedras se pierde en la oscuridad de los siglos. Pero durante largo tiempo no han existido mas que á la vista de la naturaleza y de algunos observadores á quienes la casualidad hizo testigos oculares de su caida. Su testimonio era rehusado con una especie de indignacion por la mayor parte de los físicos; y los seres cuya existencia proclamaban, estaban destinados á la clase de aquellos que la imaginacion engendra y repudia la naturaleza: daré un estracto histórico de las aerolitas; espondré despues algunas conjeturas que se han propuesto sobre su formacion desde el momento que no se ha podido dudar de su existencia.

1840. Se hallan en los escritos de los filósofos de la antigüedad algunos rastros de la existencia de las aerolitas. *Tito-Livio* hace mencion de diferentes lluvias de piedras caidas en las cercanías del monte Albano, en la inmediacion de Roma. *Plinio* refiere que en su tiempo se veia aun una piedra de una magnitud considerable que habia caido en *Tracia* cerca del rio Aegos-Potamos en el segundo año de la olimpiada setenta y ocho (467 años antes de Jesucristo). Esta piedra era de la magnitud de un carro y de un color algo quemado; los griegos creian que habia caido del sol, y que *Anaxágoras* habia anunciado muchas circunstancias de su caida, lo que da lugar á *Plinio* á hacer notar que

la prediccion habria sido mas miraculosa que la caida de la piedra. Habia en el gimnasio de Abidos una piedra que tenia el mismo orígen que la que se acaba de referir: se veia otra en la ciudad de Casandria. En fin *Plinio* asegura haber visto él mismo una de estas piedras en el pais de los voconcios que habitaban la parte meridional del Delfinado.

1841. La naturaleza no ha presentado á menudo semejantes fenómenos, desde *Plinio* hasta al año 1700, en que á lo menos no han sido recogidos con cuidado. El solo de que se haya comprobado la existencia es el de que Ensishem, en Alsacia, ha sido el teatro en 1492. La piedra que cayó del seno de la atmósfera pesaba 260 libras.

Lalande ha consagrado en los principios históricos de Bressa, año 1756, un hecho que ha llamado la atencion de los físicos sobre la existencia de las aerolitas. En el mes de setiembre de 1753 cerca la una de la tarde siendo el tiempo muy caliente y la atmósfera muy serena, se oyó un ruido semejante á dos ó tres tiros de cañon, que resonó hasta seis leguas al rededor. El punto en que el ruido fue mas considerable fue en Pont-de-Vela. En Liponas villa que está á tres leguas de alli se oyó un silvido semejante al de un coete; y la misma tarde se hallaron en Liponas y en Pin, villa de cerca de Pont-de-Vela y que está á 3 leguas de Liponas dos masas negruzcas de una figura casi esférica, pero muy desigual que habian caido en tierras labradas en que se habian hundido como medio pie de las que la una pesaba cerca 20 libras.

Lalande añade que se habia oido en Baja-Normandia el dia de san Pedro 29 de junio de 1750 y que cayó en Niort, cerca de Cutanses, una masa á corta diferencia de la misma naturaleza que las precedentes. Se veia en Dijon en el gabinete de *De-Beost* una de estas piedras que pesaba 11 libras y media.

De Borne se espresa del siguiente modo en su Lithophilacium pág. 125, describiendo una sustancia mineral, ,, hierro atraible en granos brillantes en una matriz verdosa. Se hallan pedazos que pesan desde una hasta 20 libras esparcidos en los alrededo-

res de Planu cerca de Tabor, en el círculo de Bechin en Bohemia. Estos estan revestidos de una capa negra como escoria"; y añade „las gentes crédulas dicen que estos fragmentos cayeron del cielo en 3 de junio de 1753 en tiempo de truenos."

1842. En 1769 tres naturalistas que habitaban puntos de Francia bastante distantes el uno de los otros, *Vanchelay* en el Maine, *Gurson de Boyabal* en el Artois y *Morand* en el Contentin presentaron á la academia tres piedras caidas en diferentes comarcas y en épocas diferentes. Aqui está lo que el historiador de la academia añade á la enarracion de este hecho. La academia está ciertamente lejos de deducir de la semejanza de estas tres piedras, que hayan sido llevadas por el rayo: no obstante la analogía de los hechos sucedidos en tres lugares tan distantes, la perfecta conformidad entre estas piedras y los caractéres que las distinguen de las demas, le han parecido motivos suficientes para publicar esta observacion y para invitar á los físicos á hacer otras acerca este objeto; puede ser que podrian despejar mas la naturaleza de la materia eléctrica y su accion en el rayo.

M. Izarn nota muy bien acerca de este objeto, en su *litología atmosférica* que la relacion de los comisarios de la academia encargados de analizar la piedra de *Vanchelay*, habia sido redigida con un espíritu de prevencion, porque habia considerado la piedra analizada como una piedra de rayo, al paso que debian haberla mirado como una sustancia comun.

1843. En 24 de julio de 1780 entre nueve y diez horas de la tarde se vió parecer sobre las landas de Burdeos un globo de fuego muy considerable que se vió desde Dadhc hasta Agen. Estaba animado de un movimiento bastante rápido que le hizo correr un cierto espacio de las regiones atmosféricas, dejando en su camino señales luminosas de su existencia. Luego despues se sintió una esplosion formidable, la que fue acompañada de un granizo de piedras que cayeron sobre diferentes puntos, y particularmente en Juillac, situado á cuatro leguas al S. O. de Mezin.

Resulta del proceso verbal que se dirigió por el maire de esta comuna, que las piedras caian en algunos parages á la distancia

de diez pasos las unas de las otras: las mas no pesaban mas que un octavo de libra; algunas pesaban una ó dos libras. Se asegura que habia una del peso de cerca veinte y cinco libras, la que fue llevada á Mon-de-Marsan, y se añade que *Carris* diputado de la asamblea nacional, habia llevado á Paris muchas de estas piedras, de las que dos pesaban de veinte y cinco á treinta libras.

El cura de la Bastida envió á su hermano *Darcet* una de estas piedras, y le acompañó una observacion curiosa que consiste en que en el momento en que caian estas piedras, se hallaban en un estado de blandura pastosa, ,, hay, dice, algunas que han caido sobre pajas las que se pegaron á las piedras, y como se identificaron con ellas. He visto una de esta especie; la que está en la Bastida.... ,, Las que cayeron sobre las casas al dar en ellas no produjeron el sonido de una piedra, sino el de una materia que no está aun muy compacta.

Esta observacion se halla confirmada por el proceso verbal del maire de Juillac; quien asegura que la mayor parte cayó suavemente, y otras silvando y rápidamente. Se han hallado algunas, pero en corto número, que se hundieron en la tierra.

1844. *Howard* consignó en las transacciones filosóficas hechos á corta diferencia parecidos á los que se acaban de citar. Hace mencion de una docena de pequeñas piedras caidas en Sienne en Toscana, el 9 de julio de 1794; de una piedra que pesaba cincuenta y seis libras, caida en el condado de Yorck, el 13 de diciembre de 1795; de muchas piedras caidas en Benares en las Indias, el 19 de diciembre de 1798; en fin de muchos otros fenómenos semejantes acompañados de circunstancias que se reunen para confirmar su existencia.

1845. Comarcas vecinas de Lion ofrecieron en 1798 el espectáculo de un fenómeno atmosférico semejante á los que se acaban de describir, sobre el que *Dreé* consignó la descripcion en el *Jornal de física* (floreal año 11). El modo con que se esplica acerca de este objeto es como sigue.

,, El 22 ventoso año 6 (12 marzo de 1798), como á las seis de la tarde siendo el tiempo calmo y sereno, un globo luminoso

y estraordinario fijó hácia el oriente la atencion de los habitantes de la comuna de Sales y de los pueblos del contorno que volvian de sus trabajos; y luego su aproximacion rápida y un zumbido espantoso semejante al de un cuerpo irregular agujereado que atravesase rápidamente la atmósfera, puso á todos los habitantes de esta comuna en la mayor consternacion, en particular cuando lo vieron encima su cabeza á muy corta elevacion. Segun su relacion este globo dejaba detras de sí una larga cola de luz y arrojaba con chasquidos casi continuos pequeñas chispas de fuego semejante segun ellos á pequeñas estrellas.

,, Su caida fue despues señalada por tres trabajadores que no distaban cincuenta pasos del punto. Estos tres testigos estan acordes en que este cuerpo llegó con una rapidez espantosa, y que despues de su caida oyeron una especie de ruido que salia del lugar en que se habia hundido."

Esta caida sucedió en una viña, cerca de la casa de *Pedro Crepier*, á quien el miedo impidió como á los tres testigos de ir á reconocer lo que habia caido.

,, Al dia siguiente por la mañana fue llamado por los testigos *Chardon* y *Lapoces*, quienes llevaron consigo á *Blandel* adjunto de la comuna de Sales, y muchas otras personas. Se fueron juntos al lugar en que habian visto hundirse el globo en la tierra: alli en el fondo de un hoyo muy ancho por su boca, de diez y ocho pulgadas de profundidad, es decir de todo el espesor de la tierra vejetal, hallaron una gruesa masa negra, de figura oval irregular, y segun ellos semejante á una cabeza de becerro. Estaba enteramente cubierta de una costra negra; no estaba ya caliente, tenia el olor de pólvora, y notaron tambien que estaba entreabierta por muchas partes. Esta masa una vez transportada en casa de *Crepier* dirigieron su primer cuidado al examen de la naturaleza de un objeto tan inesperado, y lo que podia encerrar. Se pesó la piedra, su peso era de cerca veinte libras."

Dreé ha dado una descripcion: su superficie era una costra negra, vitrificada, opaca, de un cuarto de línea, de espesor, que dió fuego al golpe del eslabon; el interior ofreció una mate-

ria térrea, endurecida, de color gris de ceniza, de un tejido granujiento, en el que se hallaban varias sustancias diseminadas: 1.° hierro en granos, desde el mas pequeño volúmen hasta á una línea de diámetro, y algunas veces mas: este hierro era un poco maleable, pero mas duro y mas blanco que el hierro forjado; 2.° una pirita blanca que se parecia un poco en color al nikel, unas veces lamelosa y otras granillosa; 3.° algunos globulillos de color gris, etc.

M. Vauquelin hizo la analísis de esta piedra, contiene sobre cien partes:

Sílice	46
Óxide de hierro	38
Magnesia	15
Nikel	2
Cal	2
	103

El aumento de peso reconoce por causa la absorcion de oxígeno por el hierro nativo.

Importa notar que el resultado de la analísis de *M. Vauquelin* se aproxima mucho á los que obtuvieron *Bournon* y otros, analizando piedras semejantes.

1846. Esta conformidad de resultados en la analísis de diferentes piedras atmosféricas, combinada con un grande número de testimonios que *Izarn* ha recogido, examinados y discutidos con cuidado en su litología, no dejan duda alguna de la existencia de las aerolitas, cuando la naturaleza nos ha ofrecido nuevas pruebas bien convincentes en la caida de piedras meteorológicas que se ha visto en la inmediacion de la ciudad de la Aigle en Normandia, y en muchas otras comarcas de la Francia.

Conjeturas sobre la formacion de las aerolitas.

Bien establecida la existencia de las aerolitas es regular ocu-

parse en la indagacion del mecanismo de su formacion. Varios físicos han propuesto diferentes conjeturas.

1847. *M. Chladni* supone que existen en los espacios celestes ciertas agregaciones de materia densa, independientes de los grandes cuerpos planetarios, las que puestas en movimiento por alguna fuerza de proyeccion ó por alguna atraccion, continuan á moverse en línea recta, hasta que lleguen á la inmediacion de la tierra ó de algun otro cuerpo que por su atraccion superior, determine su caida en su superficie. Por su escesiva velocidad aumentada aun por la atraccion de la tierra, y por el violento rozamiento que estas masas esperimentan por parte de la atmósfera que atraviesan, debe escitarse, dice, mucha electricidad y mucho calor, de modo que pronto se ponen incandescentes: en este caso se licuan y se separan varios gases que hinchan la masa hasta á un volúmen considerable y terminan alguna vez por estallarla.

Esta esplicacion es ingeniosa y seria plausible, si no supusiese circunstancias del todo contrarias á las que realmente acompañan al fenómeno. *Chladni* supone que la frotacion produce la incandescencia, y de consiguiente la luz que en este caso no deberia parecer sino al fin de la caida del meteoro, parece, segun se ha observado, en el principio de su caida, deja de ser luminoso cuando ha llegado á las regiones medias de la atmósfera, y entonces sucede la detonacion.

Esta consideracion es importante, y suficiente para rebatir cualquiera hipótesis que intente poner fuera de nuestra atmósfera el origen de las aerolitas.

1848. Algunos físicos piensan que las aerolitas no son mas que una concrecion de moléculas muy divididas, de azufre, hierro, nikel, sílice, etc. disueltas en la atmósfera, y abandonadas despues por su disolvente á su atraccion recíproca á la que obedecen para formar las masas sólidas que se precipitan. Pero en esta hipótesis ¿cómo se esplicará la separacion de luz, y particularmente la detonacion violenta que en ningun caso parece poder resultar de un simple juego de la atraccion de cohesion?

1849. *M. Patrin* imaginó, por sus numerosas indagaciones

sobre la estructura del globo de la tierra, que hay un círculo permanente de diferentes fluidos gaseosos que pasan de la tierra á la atmósfera, y de la atmósfera á la tierra. Estas masas de gas heterogéneas, depuestas en la atmósfera al haber llegado á una cierta elevacion, la recorren con rapidez, y en direccion casi horizontal. En las regiones que atraviesan, la electricidad es abundante: se electrizan por consiguiente con mucha fuerza en su carrera á la manera de las nubes, y hallando en cada paso una infinidad de moléculas no electrizadas, suceden en su superficie una multitud de pequeñas detonaciones las que inflaman sucesivamente las moléculas combustibles, de las que parte quedan atras y forman la cola luminosa de estos metéoros. A medida que se efectúan las sucesivas detonaciones, se actúa la combinacion de las moléculas gaseosas; pero en el mismo instante en que estos nuevos compuestos podrian pasar al estado de solidez por la pérdida de su calórico, se reducen al estado de vapores coercibles por la porcion de calórico que reciben de las detonaciones vecinas; pero este calórico se disipa muy pronto; la masa se condensa y se aparta de la direccion horizontal para tomar la parabólica que describe en su caida. Esta masa siendo muy electrizada detona al aproximarse en la superficie de la tierra ó de alguna nube no eléctrica, y esta detonacion ya no es mas sucesiva y parcial, como en los primeros instantes de la existencia del metéoro, sino súbita en toda la masa con motivo de la aproximacion de sus moléculas. En este mismo instante se efectúa la combinacion de las sustancias que se hallan aun en el estado de simples vapores; el todo se reune por las atracciones mútuas y cae bajo la forma de masas sólidas.

1850. *M. Izarn* piensa que las aerolitas no existen en la atmósfera sino en sus elementos, es decir en el estado de gas. Cuando por circunstancias favorables las masas gaseosas se hallan transportadas de un medio que las aislaba á otro susceptible de combinarse con ellas, debe tener lugar la separacion de luz, si empieza la combinacion. A medida que esta se efectúa mudan las gravedades específicas, y empiezan las materias á desalojarse; esto

debe suceder por el lugar que ofrece menor resistencia; y de consiguiente mas bien hácia al mediodia que hácia el norte, la masa atraviesa otros medios que pueden dar nuevos principios, los que aumentando aun la pesadez determinan la curva; y cuando en fin los principios que estan en movimiento y que de todas partes se reunen, han llegado á esta proporcion que debe hacer desaparecer los elementos para producir el compuesto, la operacion principal se anuncia por la detonacion, y el producto se coloca entre los sólidos. (Véase la litología atmosférica, pág. 360).

1851. *M. Proust* aprovechándose de las luces que le suministró la analísis de una aerolita piensa que esta suerte de piedras se componen de elementos que la atmósfera no puede crear ni conservar en disolucion; lo que conduce á conjeturar que pertenecen originariamente á esta inmensa porcion de tierra que rodea los polos. Presume que despues de haber sido arrancadas por una causa violenta á su primitiva inercia, corren los espacios aéreos, embebidas en el torbellino de un metéoro no conocido que les da movimiento, que las sostiene contra su peso, y que no las abandona jamas sin haberlas imprimido esta degradacion; que lleva el sello de una esplosion eléctrica. (Jornal de física, ventoso año 13).

1852. En fin *M. Lagrange* parece inclinado á mirar las aerolitas como piedras arrojadas á lo lejos por los volcanes situados en las inmediaciones de los polos, y que se han hecho aerolitas girando al rededor de la tierra, y esplotando en el momento de su caida.

1853. Estas diferentes esplicaciones no son visiblemente mas que conjeturas que necesitan fortificarse por nuevas observaciones, por nuevos esperimentos, en fin por el examen severo de todas las circunstancias que puedan acompañar á estos fenómenos: al tiempo pues es menester referir su confirmacion ó destruccion.

SUPLEMENTO.

Mientras se ha hecho la impresion de esta obra se han publicado diferentes puntos de física, observaciones y esperimentos cuyos principales resultados deben tener aqui su lugar.

De los cuerpos celestes.

M. Pons ha observado en Marsella, en 20 de julio de 1812, un nuevo cometa, pequeño, casi informe, sin cola é invisible á la simple vista; el que pone el número de cometas descubiertos á ciento y dos.

M. Herschell continua á examinar el cielo por medio de sus grandes telescopios de 20 á 40 pies, los que le han hecho descubrir cuerpos celestes á distancias hasta el dia inaccesibles. Sus últimas observaciones tienen por objeto las nebulosas. Estas se diferencian por su figura, tan pronto regular, tan pronto irregular, por la posicion respectiva, por la claridad que difunden etc. etc. *M. Herschell* ha observado un grande número de ellas, y el maduro examen de diferentes fenómenos que presentan le ha conducido á conjeturar que existe una materia nebulosa, es decir una sustancia que da luz, sea que la tenga por su naturaleza ó por las diferentes facultades de que está dotada.

Esta materia nebulosa, esparcida desde el principio, sufre por el influjo de la fuerza atractiva una condensacion capaz de llevarla á la condicion planetaria; y si á esta condensacion se une una muy ligera compresion de la materia nebulosa se transforma en estrellas. *M. Herschell* da muchos ejemplos de la conexion de la apariencia planetaria con la apariencia estrellada, y da asi un nuevo aspecto á la teoría de la formacion de los cuerpos celestes.

(Véase para mas minuciosa esplicacion la memoria de *M. Herschell* en el Jornal de física, cuaderno de agosto de 1812, pág. 121).

De la conjelacion del agua.

He hablado en esta obra tom. II, pág. 143, del ingenioso medio empleado por *M. Leslie* para conjelar el agua dentro del recipiente de la máquina neumática. *M. Flaugergues* produce el mismo efecto sin el socorro de esta máquina. Quita el aire de un vaso por medio del agua reducida á vapor; hace despues absorver este vapor por el ácido sulfúrico, la potasa ó la cal viva, é impide que el aire vuelva á entrar en el vaso. Es claro que este vaso debe quedar vacío de aire, y este vacío será tanto mas perfecto cuanto mas exacta haya sido la evacuacion del aire. *M. Flaugergues* halló por esperimentos hechos con el mayor cuidado que se podia fácilmente, haciendo hervir un poco de agua dentro de un vaso, vaciarle de aire de modo que no quedara mas que una cantidad de este aire apenas suficiente para llenar la 4645ma parte de la capacidad del vaso; lo que indica una evacuacion de aire mucho mas completa que la que se puede obtener con la mejor máquina neumática; porque hay muy pocas de estas máquinas con las que en las circunstancias mas favorables se pueda enrarecer el aire hasta al punto de bajar el mercurio del barómetro de prueba á media línea encima de su nivel, al paso que en un aire enrarecido hasta al punto indicado, el mercurio bajaria hasta á 0'073 solamente encima del nivel.

Para repetir con el proceder de *M. Flaugergues*, el esperimento de *M. Leslie*, se toma una campana y se le quita el aire que contiene haciendo hervir un poco de agua en el fondo de ella vuelta boca arriba ó colocándola encima una cubeta llena de agua hirviendo, ó en fin introduciendo debajo de esta campana un cuerpo incandescente sobre el que se arroja un poco de agua; en el instante que esta campana está llena de agua reducida á vapores se transporta prontamente sobre una platina que tenga dos pequeños recipientes llenos el uno de ácido sulfúrico y el otro de

agua, y guarnecido todo el circuito de un ancho cordon de cera desleida con aceite de terebentina, sobre el que se aplica apretándole el borde de la campana, teniendo cuidado de comprimir la cera contra el borde para impedir al aire de penetrar en lo interior de la campana. El agua en vapor es pronto condensada y absorvida por el ácido sulfúrico y si se ha procedido con exactitud el agua de la cajita no tarda á helarse y á ofrecer el interesante fenómeno de un hielo formado por medio del agua hirviendo.

De la difraccion del fluido luminoso.

Los rayos luminosos que rozan por la superficie de los cuerpos sufren una doble inflexion que *Grimaldi* fue el primero que la observó, y á la que llamó *difraccion. Newton* se ocupó despues en este mismo fenómeno, descubrió muchas de las leyes á que está sujeto, y le hizo depender de la misma causa que produce la refraccion y la reflexion.

El mismo fenómeno ha ejercitado en estos últimos tiempos la sagacidad de *M. Flaugergues.* Ha procurado primeramente hacer sensible la doble desviacion que sufre un rayo solar en su paso cerca de la superficie de los cuerpos; y se ha asegurado que ni la figura de estos cuerpos ni su densidad ni su temperatura, ni en fin la naturaleza de los medios diáfanos que los rodean, ponen modificacion sensible en las circunstancias del fenómeno.

Estas indagaciones preliminares condujeron á *M. Flaugergues* á medir el ángulo que forma el rayo doblado con el rayo directo, y halló que este ángulo es de cerca 1 minuto 19 segundos; lo que le dió ocasion de señalar algunos errores de *Grimaldi* el que malamente aplicó á cuerpos y á aberturas de cualquiera dimension lo que no conviene sino á cuerpos y á aberturas de muy pequeñas dimensiones.

La observacion de las fajas coloradas que terminan interior y esteriormente los confines de la sombra de los cuerpos opacos, por el efecto de la difraccion confirma á *M. Flaugergues* que la difraccion de la misma manera que la refraccion, descompone al fluido luminoso, pero que su accion no es continua, de modo

que acaba y se renueva sucesivamente á diferentes distancias del cuerpo que la produce.

M. Flaugergues sujetó á la accion de un cuerpo un rayo de luz solar antes descompuesto por el prisma, y llegó á la siguiente verdad digna de notarse, es á saber, que la accion de la difraccion para descomponer el fluido luminoso es inversa de la refraccion, es decir, que los rayos menos refranjibles son los que obedecen mas á la difraccion y reciprocamente.

M. Flaugergues hizo pasar un rayo solar entre dos láminas paralelas ó que formaban entre sí un ángulo muy agudo, y el resultado que obtuvo le verificó la conjetura de *Newton* sobre la curvatura hiperbólica que en el segundo caso parecen afectar las fajas coloradas. Establece una ingeniosa aproximacion entre este fenómeno y el fenómeno análogo producido por la accion capilar. Aplica despues el cálculo á este mismo fenómeno y llega á esta conclusion, á saber, que la fuerza que produce la difraccion es una fuerza sensiblemente constante; pero cuya accion deja de ser sensible á una muy pequeña distancia del contacto.

Despues de haber determinado las leyes del fenómeno de la difraccion, *M. Flaugergues* procura indagar la causa de que procede y prueba por observaciones astronómicas que los rayos heterogéneos de que está compuesto el fluido luminoso tienen todos la misma velocidad: de que se sigue que la diferente refranjibilidad que se les observa no puede reconocer otra causa que la diversidad de masa de sus moléculas. Supone que su figura es esférica, y que independientemente de su movimiento de traslacion son animadas de un movimiento de rotacion, uniforme en todas como el primero. Supone ademas, que cada una de estas moléculas tiene dos polos de los que el uno atrae los cuerpos y es atraido, al paso que el otro los repele y es por ellos repelido. Partiendo de estos principios hipotéticos, *M. Flaugergues* esplica de un modo satisfactorio los diversos fenómenos que presenta la difraccion. Hace aun mas, sujeta á los mismos principios el fenómeno de los anillos colorados que estaba aun encubierto en una grande oscuridad.

Del sonido.

M. Chladni ha manifestado esperimentalmente (1) las líneas de nodos que existen siempre en una plancha elástica puesta en oscilacion sonora; pero no distinguió con bastante cuidado estas líneas de nodos de las líneas de polvo que se llaman *figuras acústicas*; de modo que inclinan á creer que todo el polvo es sacado de todas las partes oscilantes, y recibido sobre las líneas de nodos. Es cierto que *M. Chladni* representa en el diseño de las figuras acústicas algunos ensanches en los puntos en que se cortan las líneas de nodos; pero es sin darles la figura que realmente tienen, y sin dar de ellos esplicacion alguna.

Advertido de estos inconvenientos *M. Oersted*, profesor distinguido de la universidad de Copenhague, se ocupó con suceso en hacerlos desaparecer. Prueba que el polvo es esclusivamente arrojado de las partes de la plancha, animadas de movimiento oscilatorio muy fuerte. Una lámina de metal puesta en la vibracion sonora da asi una figura acústica cuando se echa un poco de arena encima su superficie superior en los primeros instantes de la oscilacion; pero despues de algunos segundos el movimiento oscilatorio se debilita hasta al punto de no poder producir este efecto, aunque sea aun bastante sensible al oido. Se ve igualmente que las partes que forman vibraciones de mayor estension conservan mas largo tiempo la facultad de poner el polvo en movimiento. Parece pues que estos contornos de las figuras acústicas no son mas que los límites de las partes débilmente movidas para repeler el polvo.

M. Oersted ha puesto principalmente su atencion en estas líneas de nodos cuando se cortan entre sí. Planchas metálicas cuya superficie está dividida en un grande número de líneas paralelas cortadas por otras paralelas le sirvieron para convencerse, que en

(1) *Véase en esta obra el capitulo que trata del sonido, tomo* II, *pág.* 106.

este caso los contornos de las figuras acústicas se aproximan sensiblemente á la figura hiperbólica.

Por lo demas, puede uno formar idea de este fenómeno suponiendo el espacio comprendido entre las líneas de nodos *ab* y *ac* (fig. 158) compuesto de fibras paralelas. Si se pone en movimiento el punto *m*, toda la línea *bc* formará una curva, la que no siendo mas que una muy pequeña parte de la circunferencia de un círculo, podrá sin temor de error sensible, ser mirada como una recta cortada por el medio. Las escursiones de cada punto de *bm*, y de *cm* estarán asi casi en proporcion de su distancia de los puntos *b* y *c*. Sea *h* el punto cuya escursion no es bastante grande para arrojar el polvo á otra línea *dc* mas inmediata al punto *a*; la escursion del punto *n* será menor en la proporcion de *an* á *am*, supuesto que *am* tenga un movimiento oscilatorio sin encorvarse sensiblemente. Los puntos de escursion igual estan pues mas distantes de la línea *ab* á medida que las transversales de las que estan tomados son mas inmediatas de *a*; es decir que las distancias entre los diferentes puntos del contorno de la figura acústica y la línea *ab* estan en razon inversa de la distancia de las abcisas tomadas sobre esta línea. Pero esta proporcion y la de la hipérbola cuando se toma una de las asimptotas por abcisa, y el punto de interseccion de la asimptota con el eje por punto de salida. Podriase reconvenir á *M. Oersted* de hacer suposiciones inexactas sino hubiese cuidado de advertir que no da esplicacion del fenómeno, mas que como una simple aproximacion.

La arena mas fina da los fenómenos de un modo demasiado rápido para examinar sus minuciosidades. Esto es lo que inclinó á *M. Oersted* á dar la preferencia á los polvos mas ligeros tales como el licopodium; las vibraciones sonoras le dan un movimiento oscilatorio muy notable. Este se combina con la cohesion de las moléculas del polvo diseminado sobre la plancha para reunirle en pequeños emisferios, en los que se observa aun una infinidad de movimientos subordinados. Este fenómeno se manifiesta sobre todas las partes de la plancha que esperimentan una fuerte oscilacion, y hace asi ver los contornos de la figura acústica, aun antes

que el polvo sea arrojado de las partes que repelen en un instante la arena comun.

M. Oersted sustituyó en esta clase de esperimentos el alcohol al licopodium. Las vibraciones sonoras de la plancha produjeron súbitamente dos especies de undulaciones en el líquido. La una era paralela al borde tocado por la plancha, la otra perpendicular al mismo borde. Las oscilaciones del primer órden deben su origen á la oscilacion de todas las líneas perpendiculares al borde tocado, al paso que las oscilaciones del segundo órden son producidas por las oscilaciones de las líneas paralelas al mismo borde.

Las vibraciones de una plancha elástica deben obrar sobre el aire á poca diferencia como sobre los líquidos y sobre el polvo; es decir, que deben producir en él ondas sonoras que se crucen en diferentes sentidos, determinados por las diferentes curvaturas que toma la plancha que oscila. Las moléculas de la plancha que corresponden á las partes en reposo ó débilmente movidas estarán tambien en reposo ó tendrán un movimiento insensible. Las oscilaciones del aire tendrán tambien una figura determinada por la del cuerpo sonoro y por el modo con que se efectúa su oscilacion. De aqui procede que los cuerpos pueden tener algo de distintivo independiente de la fuerza y del tono mas ó menos agudo en los sonidos que dan; y en esta diferencia de sonidos producidos por diferentes cuerpos es en que *M. Oersted* hace consistir su sonido.

Si se objeta que todas estas pequeñas diferencias se confunden en el aire, el esperimento siguiente, que pertenece á un estimable físico aleman, *M. Viet*, bastará sin duda para destruir esta objecion.

Esperimento. Si se pasa con mucha lentitud una plancha que oscile por delante la oreja, se halla una posicion tal que no se oye nada del sonido que da.

M. Viet creyó al principio que este fenómeno procedia de una particularidad en el órgano del oido; pero luego despues adoptó la esplicacion satisfactoria que un físico sueco muy distinguido *M. Halstrom* dió de este fenómeno; este hizo ver que esto

sucede cuando la plancha en oscilacion se halla en el mismo plano horizontal que la abertura del oido.

M. Oersted á esta razon añade otra, la que consiste en que no debemos oir sonido alguno cuando una parte de la plancha en reposo está situada frente por frente de la abertura del canal acústico. Asi se puede decir en algun modo que se siente la figura acústica.

(*) *Del precisivo de Canellas.*

El Padre Canellas individuo de la Real Academia de ciencias naturales y artes de Barcelona, y profesor de náutica en la Real Casa Lonja de la misma ciudad, viendo que el círculo repetidor y otros instrumentos destinados á tomar ángulos no daban los segundos sino de diez en diez, y que es menester repetir varias veces las mismas operaciones para dar un resultado aproximado, inventó el *precisivo* que se va á describir, del que se halla un modelo en el gabinete de máquinas de la Real Junta de comercio de este principado de Cataluña, cuya descripcion es la que se va á dar, tal como se halla en el tomo X, cuaderno V, mayo 1820, de las Memorias de agricultura y artes.

,,Lo que primeramente se presenta á la vista del curioso que pretende examinar este instrumento, son dos discos de laton perfectamente circulares de igual diámetro y espesor, (fig. 2, 3 etc. lám. sup.) que estando separados, paralelos entre si y cerrados por una plancha cilíndrica del mismo metal compuesta de dos partes desiguales muy unidas entre si por medio de cuatro pequeños tornillos, forman una como caja ó cilindro hueco que contiene y guarda del polvo la máquina que luego se verá. El diámetro de cada uno de los discos, que son las bases del referido cilindro, es de 13 pulgadas 5 lineas, y su grueso de una línea y $\frac{3}{4}$ de otra: y como la plancha ó guarda polvo, que forma la superficie convexa de aquel, es del grueso de 2 líneas, y solo tiene de diámetro interior 11 pulgadas 9 líneas, resulta que las bases esceden una pulgada 4 líneas al diámetro total del cilindro, y por lo tanto se observan los dos referidos discos salientes 8 líneas al rededor de

dicho cuerpo, cuya altura es la misma cantidad que vale lo que estan separados los discos, y es, entrando juntamente el grueso de ellos, de una pulgada $9\frac{1}{2}$ líneas. Para que estos esten bien unidos con la plancha ó planchas que forman la superficie convexa, que llamaremos guardapolvo, se observan tres tornillos, cuyas cabezas estan embebidas en ambos discos, que siendo los vértices de un triángulo equilátero, estan equidistantes del centro, y pasan á enroscarse con tres pilares colocados al intento en la parte interior del instrumento. Este cuerpo, que se presenta en forma de garrucha, resultaria bastante regular á no tener, á un lado y muy arrimada á la base superior, una porcion de otro cilindro mas saliente, cuya convexidad es un segmento de círculo de menor radio, su altura $5\frac{1}{2}$ líneas, y abraza en el cuerpo primitivo un arco de 68.º, saliendo en su parte media una pulgada $1\frac{1}{2}$ línea, que es lo que se necesita para dar paso á cierta rueda y tenerla abrigada del polvo como á las demas.

Desde luego se nota, que el disco superior tiene descritas cinco circunferencias concéntricas, estando la mas interior, cuyo radio es de 6 pulgadas, dividida en 720 partes iguales, que el inventor designa con el nombre de *roseta*; al rededor de esta y sobre su mismo centro, giran cuatro alidadas en ángulos rectos, dispuestas en forma de cruz, y llevando en sus estremos un *nonio* ó *vernier* vuelto hácia la parte interior para indicar no solamente los grados y medios grados en las 720 partes iguales de la circunferencia dividida, sino tambien los minutos de seis en seis, por ser cuatro las divisiones de la graduacion que abraza dicho *nonio*, estando este dividido en cinco partes iguales. Estas alidadas, formadas de una sola pieza de laton, son cuatro para mayor comodidad del observador al contar la graduacion, pues como difieren 90.º justos, sabiendo lo que marca la una de ellas, se sabrá inmediatamente lo que deben indicar las otras tres. A mas de las referidas cuatro alidadas, llamadas por el inventor *magistral*, cuya longitud es casi igual al radio del disco superior, su latitud de una pulgada 3 líneas $\frac{3}{4}$ y su grueso de una línea, solo estan en contacto con el disco por sus estremos, y separadas

de él por todos los demas puntos intermedios, á fin de dejar bastante espacio para pasar entre ellas y el plano de dicho disco una como aguja ó índice (1) del mismo metal plateado de longitud igual al radio de la circunferencia graduada, que girando sobre el mismo centro, sirve para señalar en las mismas 720 partes iguales de la *roseta* los minutos y aun los segundos de dos en dos.

Se notan igualmente en la parte superior del cuerpo del instrumento dos escelentes anteojos astronómicos y fuertes acromáticos acompañados de todos los vidrios necesarios con sus correspondientes retículas, fabricados por el célebre artista óptico residente en esta ciudad D. Antonio Maglia. Su situacion es tal, que puede cualquiera de ellas girar hácia todas direcciones horizontales sobre un eje vertical perpendicular al plano de la *roseta* pasando por su centro, cuyo movimiento en cada uno de ellos es libre é independiente del otro. El primero, que es el mas inmediato al plano del disco graduado, del cual está separado 2 pulgadas 4 líneas, se observa colocado de firme segun la direccion de dos alidadas de la magistral, y estando sujetado con ella, gira tanto como gira esta; pero el otro, distante del mismo plano 6 pulgadas 6 líneas, está fijo perpendicularmente á una regla de laton paralela al plano de la *roseta* distante de ella 4 pulgadas 7 líneas, cuya longitud es 19 pulgadas una línea, su latitud 10 líneas $\frac{1}{4}$, y su grueso 4 líneas. En la mitad de la regla se observa, sin ser pieza separada, un perfecto semicírculo, cuyo diámetro, perpendicular á la longitud de aquella, es de 3 pulgadas 8 líneas, que sirve para llevar la armazon que sujeta el segundo anteojo. Los estremos de la regla se observan afirmados á dos montantes del mismo metal de igual grueso que ella en una posicion vertical, los cuales, teniendo la inclinacion conveniente, y formando los ángulos necesarios para dejar libre paso entre ellos al primer anteojo, se sujetan á una argolla, que estando dividida en dos par-

(1) *Este me parece podria llamarse un* Canellas, *nombre de su inventor.*

tes y unida por medio de tornillos, abraza la superficie convexa del guardapolvo, y se ve correr libremente sobre el esceso del disco inferior, con el cual se puede sujetar en una posicion determinada por medio de los dos tornillos de presion y de ajuste que lleva la referida argolla. Los mencionados anteojos, compuestos de dos tubos cada uno tambien de metal, pueden graduarse segun la vista del observador y distancia del objeto, dando vueltas á una pieza que se observa á sus lados y obliga á dichos tubos á salir ó entrar, segun sea conveniente con toda precision; su longitud es de 17 pulgadas 8 lineas, y el diámetro de una pulgada 5 líneas. Los dos se ven sujetados en una armazon por medio de la cual se les da paralelamente á si mismas un pequeño movimiento lateral, á fin de rectificar sus respectivas posiciones en caso que por causas imprevistas se hubiesen alterado, y tambien pueden girar un poco sobre un eje horizontal formando diferentes ángulos con la línea vertical. No obstante los referidos anteojos estan dispuestos de modo que en todas sus posiciones los ejes ópticos de ellos se cruzan en el centro de la *roseta*, á fin de que el ángulo que forman sea medido exactamente por el arco del círculo graduado que comprenden.

En la parte inferior del cuerpo del instrumento se notan dos juegos del mayor interes, por medio de los cuales con una suavidad y dulzura admirables puede tomar cualquiera posicion tanto horizontal, como vertical é intermedia en todas direcciones. Estos se componen de un sin fin cada uno; el primero que es horizontal está construido en un cilindro cuyo diámetro es de 3 pulgadas, y su altura de una pulgada 6 lineas, y el segundo en una rueda sólida vertical no entera de diámetro 2 pulgadas 10 líneas, y grueso $7\frac{1}{2}$ líneas. Sigue finalmente el pie, ó mejor un cilindro sólido, cuya altura es de 7 pulgadas 6 líneas, y su diámetro una pulgada, construido para introducirse en el cilindro hueco que debe llevar su pie, y que no describiremos por no ser de particular interes el conocimiento de sus partes. La altura total de todo el instrumento, desde el estremo inferior del cilindro sólido que entra en su pie hasta el anteojo superior inclusive,

resulta de 24 pulgadas 10½ líneas. Ya tenemos decifradas todas las partes que presenta á primera vista este nuevo instrumento, y si de alguna se ha dejado de hablar, como es la armazon y juego sin fin que se observa en la parte inferior de todo el cuerpo cilíndrico del instrumento y sirve para dar el movimiento á lo interior de la máquina, ha sido solo para encadenar su esplicacion con aquella, por tener estas piezas con ella una relacion mas directa é inmediata. Tenemos delante los ojos cilindros, discos, círculos graduados; observamos juegos y movimientos sin fin horizontales, verticales y en todas direcciones, notamos tornillos de presion y de ajuste, anteojos acromáticos astronómicos con sus retículas, alidadas é índices; pero como solamente se han descrito las piezas esteriores del instrumento, sin habernos internado en la máquina de precision que lleva dentro del cilindro ó guardapolvo, cuyas bases son los dos discos, faltan á describir las piezas interiores de él y la relacion que estas tienen entre sí y con las partes indicadas que pasamos á examinar.

Quítese para esto, ó imagínese quitada la base superior del cilindro que es el disco graduado, y se descubrirá desde luego una máquina compuesta de tres ruedas de laton dentadas con sus ejes de hierro y tres piñones del mismo metal con sus correspondientes estrías. La primera de dichas ruedas, que es la de mayor diámetro = 6 pulgadas 9 líneas, y por lo tanto qne contiene mayor número de dientes, se observa colocada á una distancia del centro igual á la suma de los radios de ella y del mayor piñon que se ve concéntrico á la *roseta* del instrumento. La segunda y tercera son iguales en diámetro de 5 pulgadas 7½ líneas, y en número de dientes, y su diferencia solo consiste en la posicion respectiva de sus ejes, pues que el de la última se observa situado en el centro mismo del instrumento, y el de la segunda á la distancia suficiente de la última y primera para tener su movimiento correspondiente juntamente con ellas. Parece inútil advertir, que todos los ejes estan colocados perpendicularmente á los planos de los discos del instrumento llevando cada uno su piñon; que la primera rueda lo mismo que la segunda tienen sus piño-

nes, iguales en diámetro de $6\frac{1}{2}$ líneas, y en número de estrías, fijos é inseparables de sus ejes; que el estremo superior del eje de la segunda por haber de ser mas corto que los demas, en lugar de estar apoyado al disco graduado como se verifica con los otros dos, lo está á una pieza de laton en forma de caballete que está sujetado por sus estremos al disco inferior; que la primera lleva su piñon en la mitad de su eje estando ella en la parte superior; la segunda, que se nota en la parte media, tiene su piñon en la parte inferior, y la tercera, que se halla fija en la parte inferior de su eje, lleva su piñon de mayor diámetro = 9 líneas y mayor número de estrías que los demas en la parte superior del mismo eje entrando este por el agujero del centro de aquel piñon, donde gira con movimiento independiente de su eje y por lo tanto de la citada rueda. Porque, como los dientes de las ruedas han de engranar con las correspondientes estrías de los piñones para el movimiento respectivo, esto no podria verificarse siempre que ruedas y piñones estuviesen colocados en una situacion diferente de la que se ha esplicado; esto es, no podrian los dientes de la primera rueda engranar con las estrías ó aluchos del piñon que se halla sostenido por el eje de la última, si estando este en la parte superior, se hubiese situado aquella en la inferior ó al contrario; y lo mismo se debe entender de las otras dos. El diámetro de la primera rueda juntamente con el radio del piñon tercero esceden al radio total del disco graduado, y de aqui es la irregularidad que se nota saliente en la parte superior de la superficie convexa del cilindro ó guardapolvo cuando el instrumento está cerrado. Los dientes de la primera rueda engranan con las estrías ó aluchos del piñon tercero, los dientes de la segunda con los del piñon primero, y las de la tercera con los aluchos del piñon de la segunda. El diámetro de la rueda segunda es igual al de la tercera, como y tambien sus gruesos y demas dimensiones; los piñones primero y segundo tienen igual número de estrías ó aluchos y en todas sus dimensiones son iguales; pero el tercero, aunque tiene su altura igual á la de los otros dos, como debe contener mayor número de aluchos, tiene tambien las de-

mas dimensiones mayores. Este piñon tercero, que se ha dicho estar agujereado por el centro saliendo por la parte superior de la roseta en forma de exágono, lleva de firme el índice que debe marcar los minutos y segundos. El eje de la tercera rueda que es concéntrica á la roseta y al piñon último, teniendo su forma cilíndrica, y habiendo pasado por el agujero de esta misma figura que atraviesa por su centro á aquel piñon, sale finalmente por su parte superior en forma de cuadrado, en donde se ve acomodada la magistral, á fin de tener su movimiento correspondiente para indicar en la roseta los grados y minutos de 6 en 6 por medio de los *nonios* que se observan en sus estremos. El movimiento de todas las ruedas, y por consiguiente de la magistral é índice para marcar los grados, minutos y segundos en las partes de la roseta, se obtiene haciendo girar la rueda primera. El eje de esta sale en la parte inferior del disco no graduado, cuyo remate es un cuadrado en que se halla acomodado un cilindro ó tambor sólido de laton del grueso de 7 lineas y diámetro una pulgada 8 lineas, que girando él da movimiento á toda la máquina. Para obtener este movimiento muy suave y con la lentitud que se requiere, al rededor de dicho tambor se han construido unas semiespiras cóncavas, que enroscando con las convexas que tiene la espiga de cierto tornillo, dan un movimiento sin fin muy dulce á dicha máquina. Cuando se pretende un movimiento mas veloz con solo destornillar un tornillo de presion, que se observa en la armazon en que está apoyado dicho sin fin, se separa dicho tornillo de aquel tambor la cantidad necesaria para que este pueda girar libremente, dándole el impulso directamente con la mano. A fin de que el eje de la primera rueda no bambolée en el agujero del disco inferior, que atraviesa, y se mantenga siempre apretado al disco superior, en que apoya, se ha construido una pieza de laton en forma de caballete, que abrazando todo la referida armazon, y estando sujetado en el disco inferior por sus dos estremidades, tiene en la direccion de dicho eje un agujero con sus muescas que sirven de tuerca ó hembra á la espiga de un tornillo que remata en punta cónica, y va á en-

contrar un punto que tiene marcado en el centro la misma estremidad inferior del eje de la primera rueda. Dispuesto en los términos espresados el instrumento, y una vez que son todas las referidas piezas tan unidas, todos sus juegos y mecanismo construidos con tanta finura, y las llaves con que se comunican los movimientos tan ajustados, que demuestran bien á la simple inspeccion lo mucho que puede el arte cuando está apoyado en conocimientos científicos, ¿qué posicion podrá desearse que no se obtenga inmediatamente con toda exactitud? ¿y cuánta no será la suavidad y dulzura de todos sus movimientos?

Todo lo dicho solamente se ha dirigido á dar á conocer las piezas de que consta el todo del ya descrito instrumento; y una vez que esta parte interesante se halla concluida con bastante difusion, pasemos ya á examinar las leyes con que obra el todo de la máquina para marcar los grados, minutos y segundos con precision por medio de los movimientos comunicados por las ruedas con velocidades diferentes á la magistral é índice referidos que es el principio constitutivo de su invencion.

Para esto, llamemos A el número de dientes de la primera rueda, B los dientes de la segunda, C los de la tercera; llámense tambien a el número de estrías ó aluchos del primer piñon, b los aluchos del segundo, c los del tercero. Sean igualmente i las revoluciones del índice, y m las revoluciones de la magistral, y resultará $i = \frac{A}{c}$, y $m = \frac{a.b}{B.C}$. Porque si se suponen A', B', C', a', b', c', las revoluciones respectivas de las ruedas y piñones se tendrá....

$$c : A :: A' : c' = i = \frac{A \,.\, A}{c}$$

$$B : a :: a' = A : B' = \frac{A' \,.\, a}{B}$$

$$C : b :: b' = B' = \frac{A' \,.\, a}{B} : C' = m = \frac{A' \,.\, a \,.\, b}{B \,.\, C};$$ pero

como las revoluciones del índice son contemporáneas á las de la magistral, el número de grados que ha de valer i será siempre

igual al número de grados que vale m, y por lo tanto será $\frac{A}{c}=\frac{a.b}{B.C}$ fórmula por medio de la cual se deducirá con la mayor facilidad los turnos y partes de la roseta corridos respectivamente por el índice y magistral; sus velocidades y valores respectivos de cada turno y parte de division; y se verá que las revoluciones y número de partes andadas estan entre sí como sus velocidades; pero que los valores de cada turno y division de la roseta, comparados con el índice y magistral, estan en razon inversa de las mismas velocidades.

Ahora, pues, una vez que son 180 los dientes de la primera rueda y engranan con los 20 aluchos del piñon tercero con quien está unido el índice, es evidente que un turno de aquella producirá 9 turnos al piñon con cuyos aluchos engranan sus dientes, y por lo tanto, igual número de revoluciones al índice representadas en la fórmula con la espresion $\frac{A}{c}=\frac{180}{20}=9$.

Los 15 aluchos del primer piñon, que ha dado tambien un turno como su rueda, por estar fija en su eje, habrán comunicado á la rueda segunda por medio de sus 150 dientes con que engranan un décimo de turno $=\frac{a}{B}=\frac{15}{150}=0'1$; este décimo de turno ha sido comunicado igualmente al segundo piñon unido de firme con su eje, y como sus aluchos son tambien 15, dicho décimo de turno en el piñon segundo resultará espresado en aluchos del mismo por $\frac{a.b}{B}=\frac{15.15}{150}$, que son un alucho y medio igual un décimo de turno del piñon. Finalmente, este mismo décimo de turno del piñon segundo, que engrana sus 15 aluchos con los 150 dientes de la tercera y última rueda, debe haber producido en ella un centésimo de turno, que resulta espresado en la fórmula por $\frac{a.b}{B.C}=\frac{15.15}{150.150}=\frac{225}{22500}=0'01$, y por lo tanto la magistral, que se halla fija con el eje de esta, debe haber corrido la misma cantidad.

De lo dicho hasta aqui resulta $\frac{A}{c} = \frac{a.b}{B.C}$, ó bien $9 = 0'01$; espresion que manifiesta las velocidades respectivas del índice y magistral; y como el primer miembro de la ecuacion $\frac{A}{c} = 9$ indica la velocidad del índice, y el segundo miembro $\frac{a.b}{B.C} = 0,01$ la velocidad de la magistral, deduciremos que 9 turnos del índice equivaldrán á un centésimo de turno de la magistral. A mas de esto el número de revoluciones del índice siempre será igual al número de revoluciones de la magistral multiplicado por el producto de los dientes de las ruedas partido por el producto de los aluchos de los piñones; y las revoluciones de la magistral se hallarán siempre multiplicando el número de revoluciones del índice por el producto de los aluchos de los piñones, partido por el producto de los dientes de las ruedas: porque segun las leyes de mecánica y teoría de las ruedas dentadas tenemos las proporciones siguientes:

$c : A' :: A' : c' = i$

$a : B :: B' : a' = A'$

$b : C :: C' = m : b' = B'$; multiplicando y simplificando será $c \times a \times b : A \times B \times C :: m : i = \frac{m.A.B.C}{c.a.b}$, y $m = \frac{i.c.a.b}{A.B.C}$; y por lo tanto el índice dará 900 revoluciones mientras que la magistral complete una de las mismas, y al reves.

De aqui se sigue, que una vez que un turno de la magistral equivale á los 360.° de la circunferencia de la roseta, un turno del índice equivaldrá á $\frac{360}{900}$.°, esto es 24 minutos; pero como toda la circunferencia de la roseta está dividida en 720 partes iguales, cada minuto valdrá $\frac{720}{24} = 30$ de las referidas partes corridas por el índice, y por lo tanto cada parte de la division de la roseta al paso que vale $\frac{360}{720}$.° $= 30$ minutos andada por la magistral, corrida por el índice tendrá el valor de $\frac{24'}{720} = 2$ segundos. Luego por medio de esta simple máquina podrá contarse la graduacion de dos en dos segundos, y aun sin necesidad de lente al-

guna, por ser bastante sensibles las partes de la division, estimarse las unidades de aquellos.

De todo lo dicho se infiere, que la máquina es tal, que siempre que la tercera rueda, que es la del centro, y lleva la magistral, haya dado una revolucion completa, la segunda rueda habrá dado diez turnos, y la primera, que es la que da todo el movimiento á la máquina, debe haber dado ya cien revoluciones completas y exactas sobre su eje; pero siempre que esta da una revolucion el índice debe dar nueve; luego siempre que la magistral haya concluido exactamente una revolucion, habrá el índice completado 900 de estas revoluciones; y por lo tanto la velocidad de la magistral estará con la velocidad del índice en la misma razon que 1 : 900; y asi cuando la magistral habrá andado 30 minutos, que es $\frac{1}{270}$ de la circunferencia de la roseta, el índice debe haber corrido ya $\frac{900}{720}$ de la misma, que es igual á una revolucion entera y un cuarto de otra.

Luego, aunque las 720 divisiones de la roseta nos sirven para conocer cuanto han andado respectivamente el índice y magistral, segun los cálculos y combinaciones referidas, deben aquellas, no obstante, tener diferente denominacion cuando se refieren al índice de la que tienen cuando se refieren á la magistral, pues que segun se ha visto, cada division en el primer caso es igual á dos segundos, siendo en el segundo caso equivalente á 30 minutos. Y por lo tanto en la circunferencia del disco graduado ó roseta se observan escritos de 5 en 5 los grados desde cero hasta 360, y esta numeracion sirve para la magistral, notándose al mismo tiempo otra numeracion un poco mas distante del centro que empieza con la misma division del cero hasta 24 minutos, correspondiendo 1′ al frente de los 15.°, 2′ al frente del 30.°, 3′ al frente de 45.°, y asi sucesivamente, concluyéndose á los 24′ que debe corresponder en frente de los 360.°; de modo, que asi como diez divisiones ó partes de la roseta, segun la numeracion interior, equivalen á 5 grados, treinta de las mismas divisiones, segun la numeracion esterior, tendrán el valor de un minuto, y por lo tanto debe el índice haber cor-

rido una revolucion y un cuarto de otra $= 24' + 6'$, para que la magistral haya andado una division ó parte de la roseta $= 30'$; luego dos divisiones en la magistral $= 1.^{\circ}$, estarán representadas por dos revoluciones y media del índice $= 24' + 24' + 12'$; tres divisiones en la magistral $= 1.^{\circ}\ 30'$, serán indicadas por tres revoluciones y tres cuartos de otra en el índice $= 3 \times 24' + 18'$; y finalmente 4 divisiones andadas por la magistral $= 2.^{\circ}$, por medio del índice resultarán equivalentes á 5 revoluciones completas y exactas $= 24' \times 5 = 120' = 2.^{\circ}$

De aqui es, que para mayor comodidad del observador y evitar toda equivocacion en el estimar las revoluciones y quebrados de revolucion que ha corrido el índice para contar la graduacion, considero muy útil, por no decir necesario, el sustituir á los estremos de la magistral, en lugar del *nonio* que indica las divisiones de la roseta y cuartos de revolucion del índice, otro *nonio* ó *vernier*, que estando dividido en cinco partes iguales, abrazase cuatro estensiones de la roseta, tales, que cada una de estas contuviese cuatro divisiones de la misma, segun el sistema de esta division, una vez que son cinco las revoluciones exactas que ha de correr el índice para que la magistral haya pasado cuatro de aquellas divisiones; y de este modo se lograria inmediatamente el conocer las revoluciones enteras del índice ó cuantas veces 24 minutos debian añadirse á los grados, minutos y segundos que marcan la magistral é índice, para obtener el valor de los ángulos observados que son iguales á los que forman los ejes ópticos de los anteojos cruzándose en el centro mismo de la roseta.

Una vez que la precision de este instrumento llega á las unidades de segundos, por cuyo motivo dispuso el inventor fuese llamado el *precisivo*, nunca habrá necesidad de repetir los ángulos en las observaciones verificadas con él para obtener los resultados exactos; y de aqui es, que el vacío (1) que dejan ó de-

---

(1) *Este vacío podria evitarse tal vez dando otra forma á los dientes de las ruedas y piñones. Si se lograse desapareceria este que imagino el mayor defecto del instrumento; podrian*

ben dejar los dientes de las ruedas con su engranamiento en los aluchos de los piñones cuando se dé á la máquina un movimiento contrario, parece no deberá causar inconveniente alguno á la precision de los resultados, siempre que manejado por un sugeto inteligente rectifique las posiciones de los anteojos, y demas piezas de que consta y lo requieran antes de observar, y dé la impulsion del movimiento segun la direccion que corresponda. Esto mismo fue ya reparado por el inventor, lo combinó, calculó el resultado que debia dar la máquina con ruedas sin dientes; esto es, por el simple contacto de cilindros; y finalmente, despreciando su efecto, se decidió á favor de los resultados que presenta la siguiente nota que se ha encontrado escrita de su propio puño y contiene todo el cálculo del *precisivo*, instrumento que se acaba de describir, en los términos siguientes: „ *Resolucion* „ *final del modelo del* precisivo *en ruedas de laton*..................

„ A 150.^{d} b 15.^{d} $fd = 27.^l$ $fm = 24,^l\,5455$ $dm = 2,^l\,4545$.
„ B 150.^{d} c 15.^{d} $dn = 27.^l$ $dp = 24,^l\,5455$ $np = 2,^l\,4545$.
„ C 180.^{d} a 20.^{d} $nf = 33.^l$ $nx = 29,^l\,7000$ $fx = 3,^l\,3000$.

„ Siendo $A =$ dientes rueda A, $B =$ dientes rueda B, $C =$ dientes rueda C, $b =$ dientes piñon b, $c =$ dientes piñon c, $a =$ dientes piñon a y $R =$ divisiones del círculo.

„ Fórmula

„ $\frac{A.B.C}{b.c.a} =$ turnos g. Y turnos $g \times R =$ partes corridas por el in- „ dice g en un turno de la magistral."

„ Tambien $A+b : A :: fd$ (distancia de los centros) $: fm =$ „ radio primitivo. Y $fd - fm = dm =$ radio primitivo del „ piñon."

„ A estos radios primitivo del piñon, ó al de la rueda, se ha

---

con él entonces repetirse los ángulos y cruzarse como se quisiese, sino para la precision, á lo menos para la comprobacion de los resultados.

„ de dar una media línea mas, á fin de tener el radio verdadero „ para que engranen los dientes de la rueda y piñon, cuya figura „ y magnitud deberá perfeccionarse despues con la lima."

„ En esta disposicion la máquina dará el resultado siguiente „ $\frac{A.B.C}{c.b.a} - \frac{4050000}{4500} = 900$ turnos g. Que multiplicados por „ $R = 720$ divisiones de la rosa dará 648000 partes corridas por „ el índice en un turno de la magistral."

„ Si dividimos los 360.° del círculo, ó $= 1296000$ por dicho „ número de partes 648000, el cuociente dará 2 segundos valor „ de cada parte corrida por el índice g.

„ Si en lugar de dividir la circunferencia en medios grados ó „ en 720 partes la dividimos en cuartos de grado, ó en 1440 par- „ tes, cada una de estas será de un segundo."

„ La roseta dividida en 720 partes ó medios grados resultará:
„ 1.° Que cada turno del índice g será de 24 minutos cabales.
„ 2.° Que cada 30 partes de la roseta serán iguales á un minuto.
„ 3.° Que cada dos y medio turnos de g darán un grado de mo- „ vimiento á la magistral."

La nota que se acaba de transcribir, manifiesta la mayor correspondenoia entre los cálculos que contiene y los arriba descritos que son los que da el instrumento. Las dimensiones pueden tener alguna discrepancia, pues se ignora la medida que se adaptó en la nota, cuando las nuestras son del pie de Burgos. La fórmula solamente difiere en cuanto en la nota se supone el principio del movimiento en la rueda del centro, que nosotros llamamos tercera, y en ella se designa por A, esto es *primera*, porque en efecto el inventor pensaba cuando escribió aquella nota dar el movimiento á toda la máquina por medio de la rueda del centro, y no por la que determinaron despues unánimes inventor y constructor, que es como se ve en el dia.

Este instrumento, que manejado con conocimientos puede sustituir y aun aventajar á los demas de esta clase empleados hasta ahora para las operaciones geodésicas, es capaz de estenderse aun á las observaciones astronómicas; porque una vez que por

medio de los dos juegos sin fin, que se han descrito y se notan debajo de él, puede tomar todas las posiciones tanto horizontales como verticales, y con cualquiera inclinacion sobre el horizonte, teniendo al mismo tiempo cada uno de los anteojos su movimiento independiente del otro, con la facultad de poderse fijar en cualquiera direccion, podrán observarse los astros, sea la que se quiera su posicion en el cielo. A este fin, pues, se han construido para los dos anteojos unos vidrios objetivos de mayor diámetro que los regulares, llamados vulgarmente vidrios de noche, y un ocular con dos vidrios de color, el uno un poco mas oscuro que el otro para temperar con ellos, segun la intensidad, los rayos de luz que despide el astro que se observa. Pero antes de observar con este instrumento siempre será necesario colocar debidamente los correspondientes niveles de aire, segun se ven en las láminas ú otros equivalentes, á fin de poder lograr con todo rigor y precision las posiciones que se requieran á dicho objeto.

El uso de los instrumentos para observar con finura y obtener resultados de confianza siempre se supone acompañado de mucha teórica y suficiente práctica; pues que con solo la primera es imposible manejar con precision y con la delicadeza que requieren todos los instrumentos de esta clase, y con solo la segunda se obtendrán solamente resultados rutinales, que por tales, aunque exactos, siempre deben ser de poco aprecio. El sugeto, pues, que esté dotado de ambas circunstancias, y tenga presente el modo de contar la graduacion, segun se acaba por estenso de detallar, ninguna dificultad tendrá en el uso del *precisivo;* al paso que aquel á quien falte alguna de ellas, se veria embarazado en su manejo y uso aun despues de la mas difusa esplicacion. Por lo que concluiremos diciendo, que son tantos los bienes que pueden resultar á la sociedad, si se logra, como se espera, acomodar aquel método sencillo y precisivo de division á los instrumentos de matemática tanto geodésicos, como astronómicos y náuticos, que mi entendimiento absorto al considerarlos titubea, y mi débil pluma no se atreve á calcular. La geo-

grafía, la astronomía y la navegacion, bases de todo el comercio y por lo mismo de la felicidad de las naciones, tributarán entonces rendidos homenages al genio que tantó las ilustra y adelanta; y los sabios llenos de gratitud y ternura, no podrán menos que esclamar: ¡Gloria á Canellas! Loores al inventor de tanta precision!

Barcelona 11 de marzo 1820.

Onofre Jaime Novellas.

ESPLICACION

DE LAS LÁMINAS 117 Y 118.

Figuras 1.ª y 2.ª

Vista del instrumento montado en su pie en disposicion de rectificar y tomar alguna observacion.

A, A, A, A. Anteojos astronómicos acromáticos para la clara distincion de los objetos.

B, B, B, B. Pieza para graduar la claridad de los anteojos segun la vista del observador y distancias del objeto.

C, C, C, C. Armazon que sostiene los anteojos.

D, D.......... Pieza para rectificarlos.

E, E, E, E. Regla y montantes para llevar y dirigir el anteojo superior.

F, F, F.... Argolla en que estan afirmados los montantes que llevan al anteojo superior para su movimiento independiente del otro.

f, f............ Piezas para impedir el bamboleo de la argolla.

G, G......... Tornillo de presion para sujetar la argolla con el disco inferior.

H............... Tornillo de ajuste para el anteojo superior.

g................ Armazon que lleva á este tornillo.

I, I, I....... Disco inferior.

J, J, J, J. Disco superior.

K, K, K... Guardapolvo.

L, L, L, L. Alidadas ó magistral.

M, M, M, M. Niveles de aire para las rigurosas posiciones horizontal y vertical del instrumento.

N, N, N.... Tambor sólido que lleva al sin fin para el movimiento horizontal.

P, P......... Pieza que lleva de firme al juego y tornillo O, O, O que enrosca con el sin fin.

Q, Q......... Rueda no entera que contiene el sin fin para el movimiento vertical.

R, R......... Pieza que lleva al tornillo S, S, que enrosca con dicho sin fin. Esta pieza en su parte inferior lleva al cilindro sólido que se mete en el pie.

T, T......... Tornillo que sujeta al instrumento con el pie.

U, U......... Arbol del pie del instrumento.

V, V, V, V, V. Tornillos para poner el árbol vertical. Estos son cuatro como representa la figura 3.ª

X.............. Tornillo que enroscando con el sin fin da dulce movimiento á la máquina.

Y.............. Tornillo que separa al anterior del sin fin.

Z.............. Caballete y tornillo que sostienen al eje de la primera rueda, en cuyo estremo inferior está de firme el tambor sólido del sin fin esplicado.

a.............. Llave para dar movimiento á los tornillos O y S.

b.............. Llave para dar movimiento al tornillo Y.

Figura 5.ª

Vista del instrumento por la parte superior sin los anteojos.

A.............. Disco superior, cuya circunferencia está dividida en 720 partes iguales, llamado roseta.

B.............. Alidadas ó magistral que marca los grados.

C.............. Aguja ó índice que marca los minutos y segundos (*el Canellas*).

D.............. Armazon para sostener al anteojo inferior.

E.............. Estremo superior del eje de la última rueda.

F, F.......... Niveles de aire para poner al plano horizontal.

G, G.......... Armazones que llevan á los montantes y á los tornillos de presion H, y de ajuste J del anteojo superior.

K.............. Guardapolvo.

L, L......... Cabezas de los tornillos que enroscan con los pilares para sujetar los dos discos con el guardapolvo.

Figura 6.ª

Vista del instrumento por la parte inferior sin el pie.

A.............. Disco inferior.

B.............. Tambor del sin fin horizontal (N figura 1.ª).

C.............. Tornillo que enrosca con el sin fin vertical Q fig. 1.ª

D.............. Tornillo Y, figura 1.ª

E.............. Armazon que lleva á dicho tornillo.

F.............. Tornillo que da el movimiento á la máquina enroscando con el sin fin del tambor G.

H.............. Caballete y tornillo en que apoya el estremo inferior de la primera rueda.

J, J............ Armazon que lleva los montantes y tornillos de presion y de ajuste K del anteojo superior.

L, L......... Piezas que lleva la argolla para que no bamboleé.

M, M, M.... Cabezas de los tornillos que enroscan con los pilares, para sujetar los dos discos con el guardapolvo.

Figura 7.ª

Vista interior del instrumento por la parte superior sin el disco graduado.

A.............. Rueda primera con 180 dientes.

B.............. Rueda segunda con 150 dientes.

C.............. Caballete que sostiene al eje de la segunda rueda.

D.............. Rueda tercera con 150 dientes.

E, E, E..... Pilares en que enroscan los tornillos que sujetan los dos discos con el guardapolvo.

Figura 8.ª

Vista de perfil de la parte interior del instrumento.

A, A.......... Pilares para sujetar los dos discos.

B, B......... Guardapolvo.
C............... Disco superior y magistral.
D... .... Disco inferior.
E............... Armazon afirmado á la magistral que lleva el anteojo inferior.
F............... Tambor sujetado al estremo inferior del eje de la primera rueda, que contiene el sin fin para el dulce movimiento en la máquina.
G............... Tornillo que enrosca con el sin fin referido.
H............... Tornillo que une y separa al anterior del sin fin.
J............... Tornillo y caballete que afianza al eje de la primera rueda para que no bamboleé.

Figura 9.ª

Vista del instrumento por la parte supèrior con los anteojos algo cruzados.
A............... Anteojo superior.
B............... Anteojo inferior.
C............... Regla que lleva al anteojo superior.

FIN DEL TERCER TOMO.

TABLA

DE LOS CAPÍTULOS Y DE LOS PRINCIPALES ARTÍCULOS CONTENIDOS EN ESTE TERCER TOMO.

LIBRO XI.

PARTE PRIMERA.

Del fluido luminoso en su estado de composicion, cuando llega directamente de un objeto al órgano de la vision.

LIBRO XI.

PARTE SEGUNDA.

Del fluido luminoso en su estado de composicion, cuando llega al ojo despues de haber sido reflejado.

LIBRO XI.

PARTE TERCERA.

Del fluido luminoso cuando llega al ojo despues de haber sido refrinjido.

LIBRO XI.

PARTE CUARTA.

De la descomposicion del fluido luminoso al traves de un prisma, y de los fenómenos á que da orígen esta descomposicion.

LIBRO XII.

PARTE PRIMERA.

Cuadro de los principales fenómenos eléctricos.

LIBRO XII.

PARTE SEGUNDA.

Teoria de la electricidad.

LIBRO XII.

PARTE TERCERA.

De la electricidad galvánica.

LIBRO XIII.

Del magnetismo.

LIBRO XIV.

De los metéoros.

SUPLEMENTO.

FE DE ERRATAS.

Páginas.	líneas.	dice.	léase.
304.....	22......	lám. sup....	lám. 2.ª sup.
320.....	3.......	1.ª y 2.ª...	2.ª y 3.ª
321.....	11......	fig. 3.ª.....	4.ª

TABLA 1.ª

De las medidas lineales francesas del sistema decimal reducidas á la vara de Búrgos.

Nombres que dan los franceses á las unidades lineales decimales.	*Nombres castellanos de las unidades lineales decimales.*	*Valores en unidades decimales.*	*Valores en medidas de Castilla, que resultan de la comparacion de la vara de Búrgos con la medidera.*	*Valores en medidas de Castilla suponiendo que el pie castellano es $=\frac{6}{7}$ de pie de Paris.*
Cuadrante de meridiano terrestre...........	Cuadrante de meridiano terrestre...........	Es la cuarta parte de la distancia que se ha de andar para dar una vuelta á la tierra. 10.000.000 medideras. 10.000 millas decimales. 1.000 leguas decimales. 100 grados decimales.	11963071 varas.	11971728 varas. 5.400 millas marinas. 1800 leguas marinas.
Grado decimal...........	Gradil ó grado decimal.	100.000 medideras. 100 millas. 10 leguas decimales.	119630'71 varas. 119630 varas y 2 pies. Poco menos de 15 leguas.	119,717'28 varas. 54 millas marinas. 18 leguas marinas.
Miriámetro................	Legua decimal ó diezmillar....................	10.000 medideras. 10 millas decimales.	11963'07 varas que es poco menos de legua y media.	11,971'73 varas. 5'4 millas marinas. 1'8 leguas marinas.
Kiliómetro	Milla decimal ó millar.	Es el primeril ó minuto decimal. 1.000 medideras. 10 centenas.	1196'307 que es algo mas de un medio cuarto de legua.	1,197'173 varas. 0'54 de milla marina. 0'18 de legua marina.
Hectómetro...............	Centena.....................	100 medideras ó varas decimales. 10 decenas.	119'6307 varas. 119 varas, 1 pie, 10 pulgadas y 8 líneas.	119'717 varas. 119 varas, 2 pies, 1 pulgada y 10 líneas.
Decámetro................	Decena.....................	Es el segundil ó segundo decimal. 10 medideras ó varas decimales.	11'963 varas. 11 varas, 2 pies, 10 pulgadas y 8 líneas.	11'9717 varas. 11 varas, 2 pies 10 pulgadas. 11'8 líneas.
Metro......................	Medidera ó vara decimal......................	Unidad fundamental que contiene 10 décimas.	1'196307 varas. 3 pies, 7 pulgadas, 0'805 de línea. 3 pies, 7 pulgadas, 0 líneas, 9'66 puntos.	1'19717 varas. 3 pies, 7 pulgadas, 1 línea y 2'14 puntos.
Decímetro................	Décima......................	0'1 de la medidera ó vara decimal. 10 céntimas.	4'3067 pulgadas. 4 pulgadas 3'6805 líneas.	4'30982 pulgadas. 4 pulgadas, 3 líneas y 8'614 puntos.
Centímetro...............	Céntima....................	0'01 de la medidera. 10 milimas.	5'168 líneas. 5 líneas y 2'02 puntos.	5'17178 líneas. 5 líneas y 2'061 puntos.
Milímetro.................	Mílima......................	0'001 de la medidera. 10 decimílimas.	0'5168 de línea. 6'202 puntos, que es muy poco mas de media línea.	0'51718 de línea. 6'206 puntos.
Decimilímetro...........	Decimílima.................	0'0001 de la medidera. 10 centimílimas.	0'62 de punto, que es algo mas de medio punto.	0'621 de punto.
Centimilímetro..........	Centimílima...............	0'00001 de la medidera. 10 millónimas.	0'062 de punto.	0'062 de punto.

TABLA 2.ª

De las medidas de superficie francesas del sistema decimal reducidas á la vara de Búrgos.

Nombres que dan los franceses á las unidades decimalss agrarias.	*Nombres castellanos de las unidades decimales agrarias.*	*Valores en unidades decimales.*	*Valores en medidas de Castilla, suponiendo la fanegada de 400 estadales cuadrados, y el estadal lineal de 11 pies burgaleses.*	*Valores en medidas de Castilla, suponiendo la fanegada de 500 estadales cuadrados, y el estadal lineal de 11 pies burgaleses.*	*Valores en medidas toledanas, suponiendo la fanegada de 500 estadales toledanos, y el estadal lineal toledano de 10 pies y 10 pulgadas de Búrgos = 10 pies toledanos.*
Míriara..................	Milla cuadrada ó diezmillarada.....	1.000.000 mediderās. 10.000 unadas. 10 millaradas.	1431150 varas. 5 yugadas, 16 fanegadas. 49 estadales y 3 varas.	1431,150 varas. 4 yugadas, 12 fanegadas, 449 estadales y 3 varas.	4 yugadas, 19 fanegadas, 249 estadales y 40 pies toledanos.
Kiliaria..................	Millarada..............	100.000 medideras. 1.000 unadas. 10 centenadas.	143.115 varas. 26 fanegadas, 244 estadales y 12 varas.	143.115 varas. 21 fanegadas, 144 estadales y 12 varas.	21 fanegadas, 474 estadales y 94 pies.
Hectárea..............	Centenada..............	Es la centena cuadrada. 10.000 medideras. 100 unadas. 10 decenadas.	14311'5 varas. 2 fanegadas, 264 estadales y 7 varas.	14311'5 varas. 2 fanegadas, 64 estadales y 7 varas.	2 fanegadas, 97 estadales y 49'4 pies.
Decara..................	Decenada..............	1.000 medideras. 10 unadas.	1431'15 varas. 106 estadales y 6 varas.	1431'15 varas. 106 estadales, y 6 varas.	109 estadales y 74'9 pies.
Ara........................	Unada....................	Es la decena cuadrada. 100 medideras, que es la unidad fundamental de las medidas agrarias.	143'115 varas. 10 estadales, 8 varas y 6 pies.	143'115 varas. 10 estadales, 8 varas y 6 pies.	10 estadales y 97'49 pies.

TABLA 3.ª

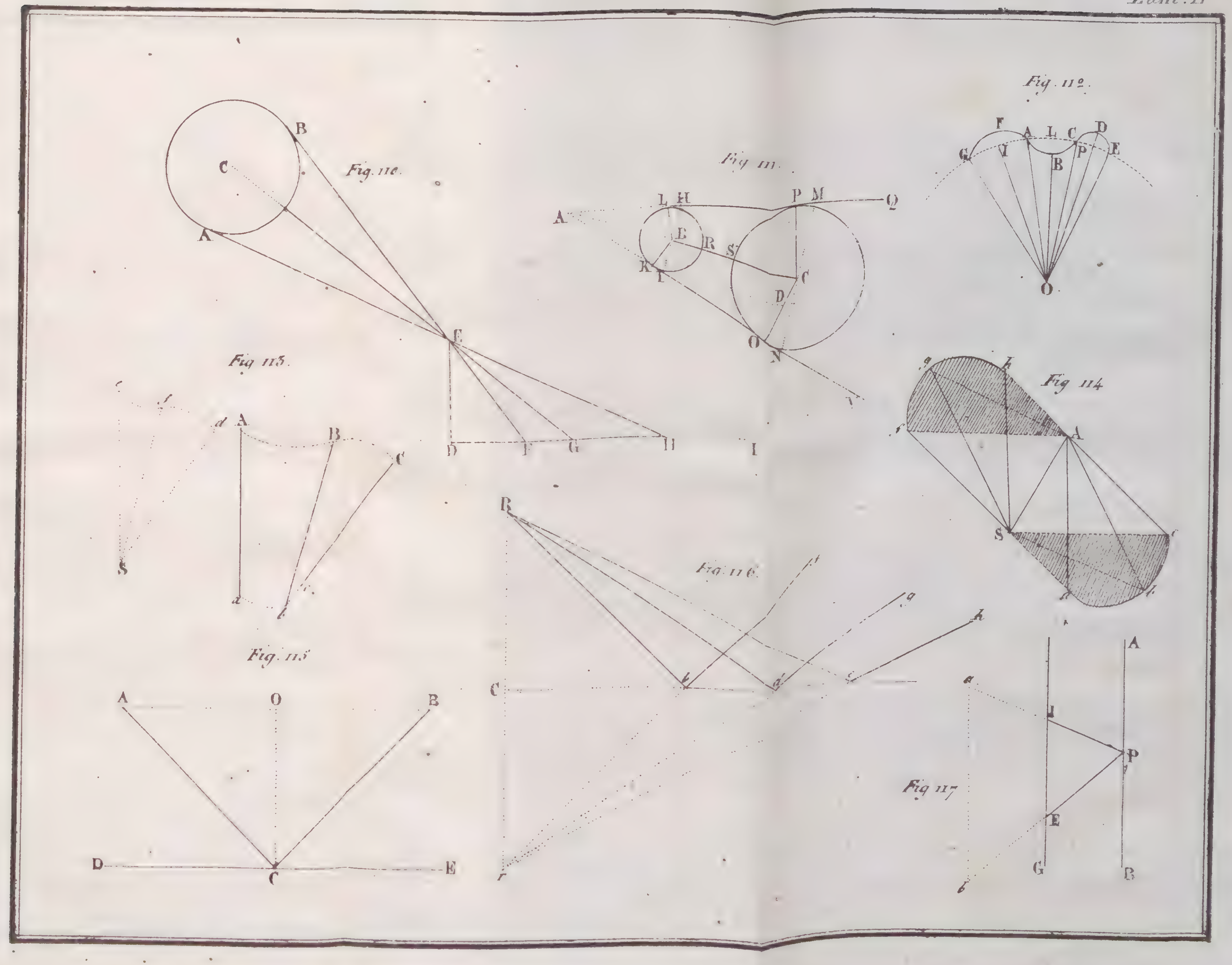
De las medidas de capacidad del sistema decimal frances, reducidas á decimales españolas y á otras comunmente recibidas.

Nombres que dan los franceses á las medidas decimales de capacidad.	*Nombres castellanos correspondientes para liquidos, áridos y sólidos.*	*Valores en unidades decimales.*	*Valores en medidas del vino de Castilla.*	*Valores en medidas del aceite de Castilla.*	*Valores en medidas de áridos de Castilla.*
Kiliolitro. Estéreo.	Milera.	Es la medidera cúbica. 1.000 uneras. 10 centeneras.	61'985 cántaras ó arrobas. 61 cántaras 7 azumbres. 3 cuartillos y 2'1 copas, que es muy poco menos de 62 cántaras.	79'614 arrobas. 79 arrobas, 15 libras y 1'4 panillas.	18'018 fanegas. 18 fanegas ó celemines ó cuartillas y 3'5 ochavillos, que es muy poco mas de 18 fanegas.
Hectolitro.	Fanega decimal. Centenera.	100 uneras. 10 deceneras.	6'1985 cántaras ó arrobas. 6 cántaras 1 azumbre, 2 cuartillos y 1'4 copas.	7'9614 arrobas. 7 arrobas, 24 libras y 0'1 de panilla.	1'8018 fanegas. 1 fanega, 9 celemines, 2 cuartillas, y 1'9 ochavillos.
Decalitro.	Cántara decimal. Celemin decimal. Decenera.	10 uneras.	4'959 azumbres. 4 azumbres, 3 cuartillos y 3'34 copas.	19'903 libras. 19 libras y 3'614 panillas.	2'162 celemines. 2 celemines ó cuartillas, y 2'59 ochavillos.
Litro.	Azumbre decimal. Celeminillo. Unera.	Es la décima cúbica. Unidad fundamental, que contiene 10 decimillas.	1'984 cuartillos. 1 cuartillo y 3'93 copas, que es muy poco menos de ½ azumbre ó 2 cuartillos.	1'99 libras. 1 libra y 3'96 panillas que apenas difiere de dos libras.	3'459 ochavillos.
Decilitro.	Decimilla.	0'1 de unera. 10 centimillas.	0'794 de copa.	0'796 de panilla.	0'346 de ochavillo.
Centilitro.	Centimilla.	0'01 de unera. 10 milimillas.	0'079 de copa.	0'08 de panilla.	0'035 de ochavillo.
Mililitro.	Milimilla.	0'001 de unera. 10 decimilimillas.	0'008 de copa.	0'008 de panilla.	0'003 de ochavillo.
Decimililitro.	Decimilimilla.	0'0001 de unera. 10 centimilimillas.	No tiene correspondiente por su mucha pequeñez.	No tiene correspondiente por su mucha pequeñez.	No tiene correspondiente por su mucha pequeñez.
Centimililitro.	Centimilimilla.	0'00001 de unera. 10 millonimillas.	idem.	idem.	idem.
Millonilitro.	Millonimilla.	Es la milima cúbica. 0'000.001 de unera.	Es una gota pequeña.	idem.	idem.

TABLA 4.ª

De las medidas de peso del sistema decimal frances reducidas al marco de Castilla.

Nombres que dan los franceses á las unidades decimales de peso.	*Nombres castellanos de las unidades decimales de peso.*	*Valores en unidades decimales.*	*Valores en unidades del marco de Castilla.*	*Valores en unidades medicinales.*
Baro........................	Millaral......................	Es el peso del agua contenida en la millera; esto es, en la medidera cúbica. 1'000 unales ó libras decimales. 10 centenales.	2 173‘474 libras. 21 quintales, 2 arrobas, 23 libras. $7\frac{1}{2}$ onzas.	2 897‘965 libras. 2 897 libras y $11\frac{1}{2}$ onzas.
Decibaro.................	Centenal..................	Peso de la centenera. 100 unales ó libras decimales. 10 decenales ó arrobas decimales.	217,3474 libras. 8 arrobas, 17 libras, 5 onzas 9 adarmes.	289‘7965 libras. 289 libras, 9 onzas y 4 dracmas.
Miriagramo	Decenal ó arroba decimal...................	Peso de la decenera ó cántara. 10 unales ó libras decimales.	21‘73474 libras. 21 libras, 11 onzas, 12 adarmes y 3 granos.	28‘97965 libras. 28 libras, 11 onzas y 6 dracmas.
Kiliogramo............	Unal ó libra decimal.	Peso de la unera ó azumbre; esto es, de la décima cúbica. Unidad fundamental. 10 diezavos.	2‘173474 libras. 2 libras, 2 onzas, 12 adarmes, 14 granos y 0‘7.	2‘897965 libras. 2 libras, 10 onzas, 6 dracmas ó escrúpulos, 14 granos y 0‘7.
Hectogramo...........	Diezavo....................	Peso de la decimilla. 0'1 del unal ó libra. 10 cienavos.	3‘477558 onzas. 3 onzas, 7 adarmes, 23 granos y 0‘07.	3‘477558 onzas. 3 onzas, 3 dracmas, 2 escrúpulos, 11 granos y 0‘07.
Decagramo.............	Cienavo....................	Peso de la centimilla. 0'01 del unal ó libra. 10 milavos.	5‘564 adarmes. 5 adarmes, 20 granos y 0‘307.	2‘782046 dracmas. 2 dracmas, 2 escrúpulos, 8 granos y 0‘307.
Gramo....................	Milavo.....................	Peso de la milimilla ó céntima cúbica. 0'001 del unal. 10 decimilavos.	20‘031 granos....................................	20‘031 granos.
Decigramo..............	Decimilavo	Peso de la decimilimilla. 0'0001 del unal. 10 centimilavos.	2‘003 granos....................................	2‘003 granos.
Centigramo............	Centimilavo..............	Peso de la centimilimilla. 0'00001 del unal. 10 millonavos.	0‘2003 granos....................................	0‘2003 de grano.
Miligramo..............	Millonavo................	Peso de la millonimilla; esto es, de la milima cúbica. 0‘000001 de unal. 10 decimillonavos.	0‘02003 de grano....................................	0‘02003 de grano.


Fig. 110.
Fig. 111.
Fig. 112.
Fig. 113.
Fig. 114
Fig. 115
Fig. 116.
Fig. 117

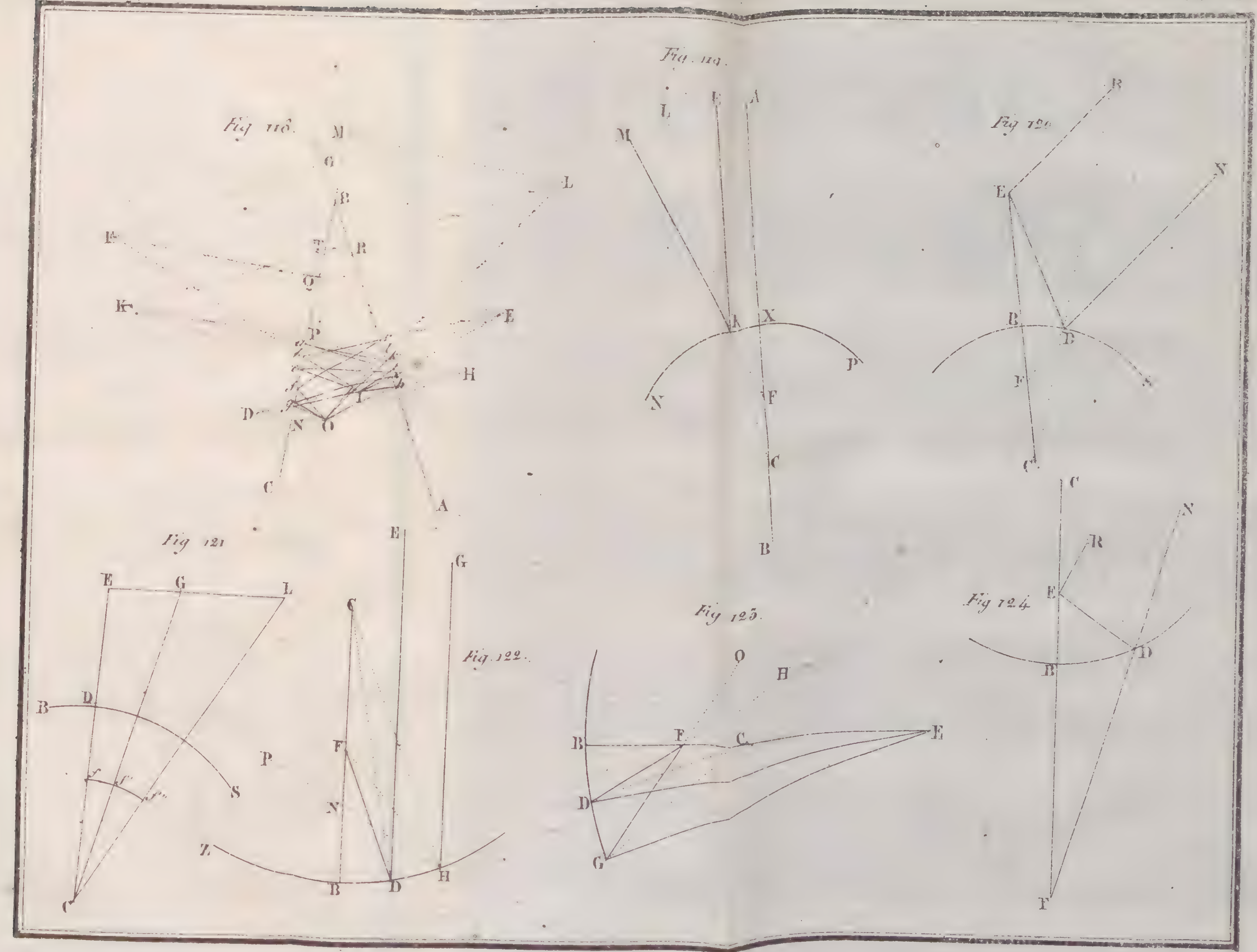

Fig. 118.
Fig. 119.
Fig. 120.
Fig. 121.
Fig. 122.
Fig. 123.
Fig. 124.

Fig. 125.

Fig. 126.

Fig. 127.

Fig. 128.

Fig. 129.

Fig. 130.

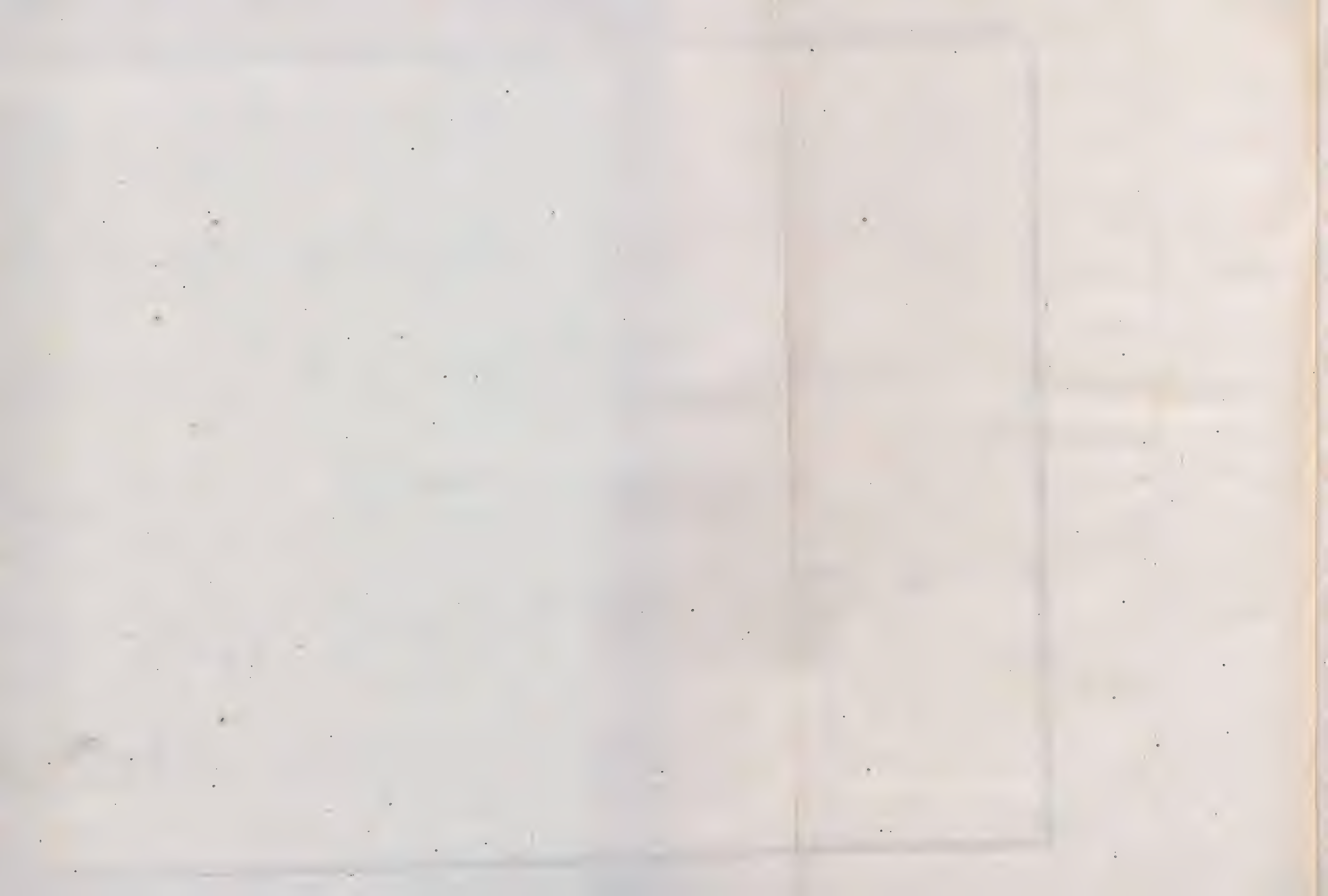


Fig. 132

Fig. 131

Fig. 135.

Fig. 134.

Fig. 133.

Fig. 136

Fig. 137.

Fig. 138.

Fig. 139.

Fig. 140.

Fig. 141.

Fig. 142.

Fig. 143.

Fig. 144.

Fig. 145.

Fig. 146.

Fig. 147.

Fig. 148.

Fig. 149.

Fig. 150.

Fig. 151.

Fig. 152.

Fig. 153.

Fig. 154.

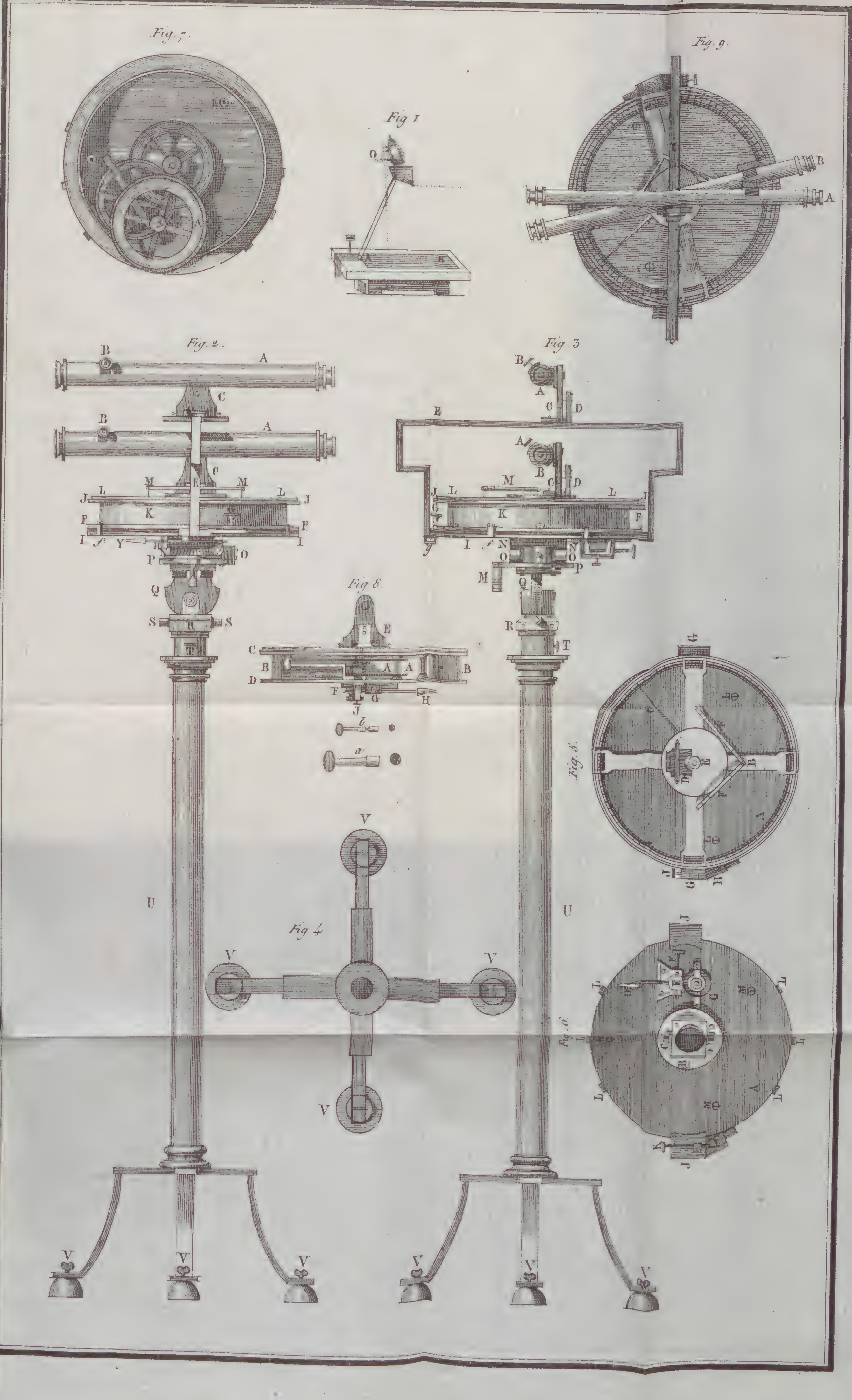
Fig. 155.

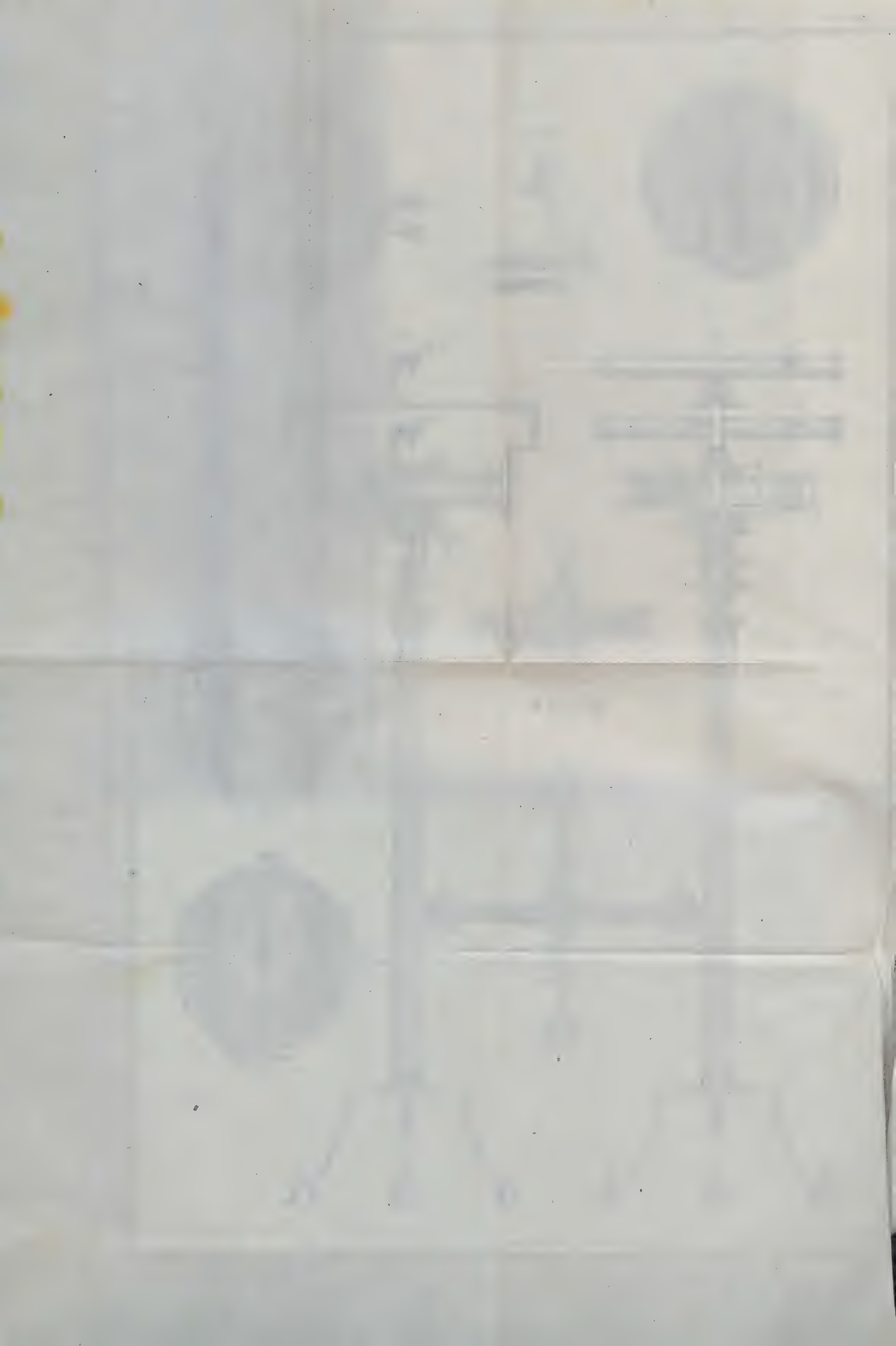
Fig. 156.

Fig. 157.

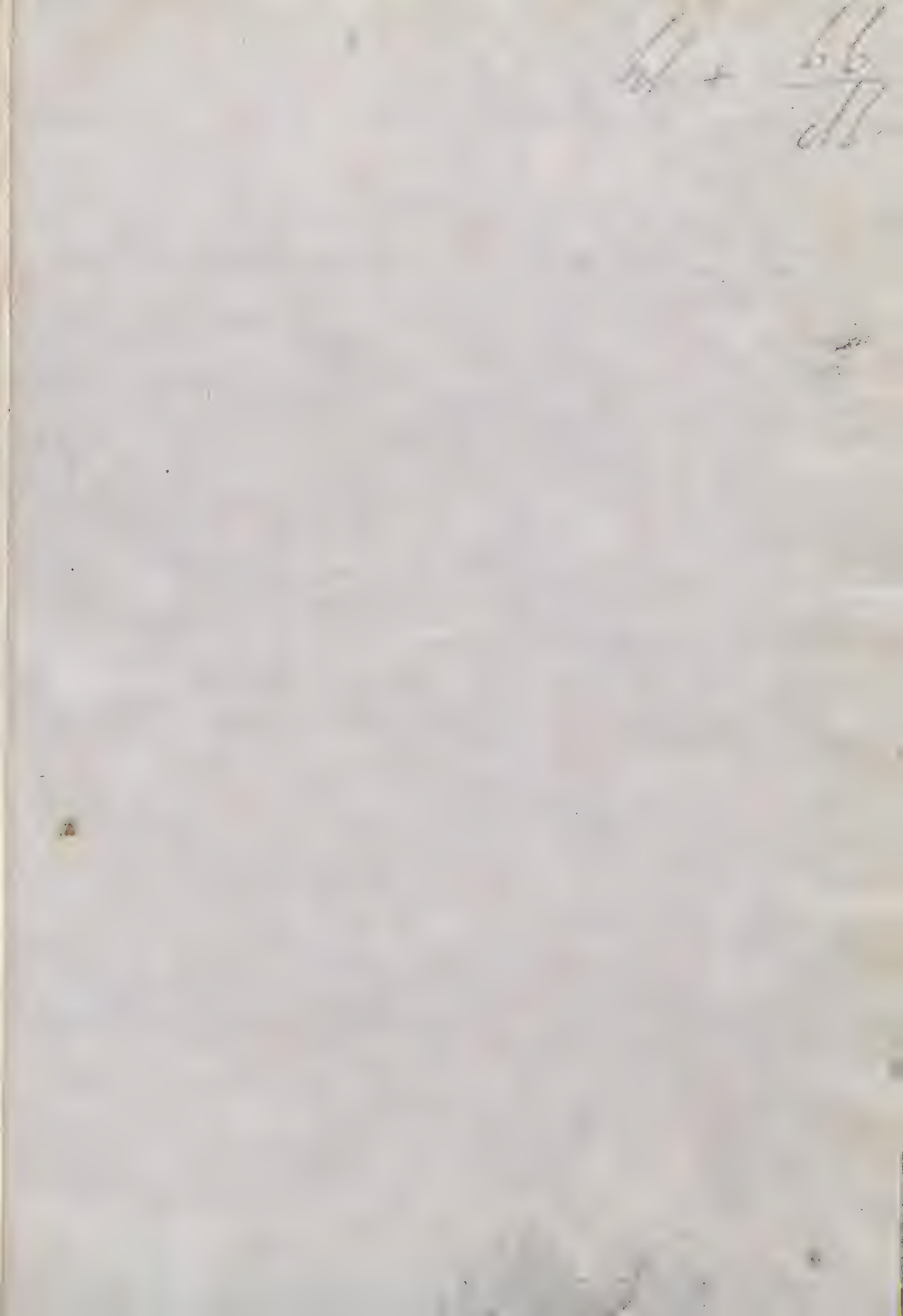
Fig. 158.

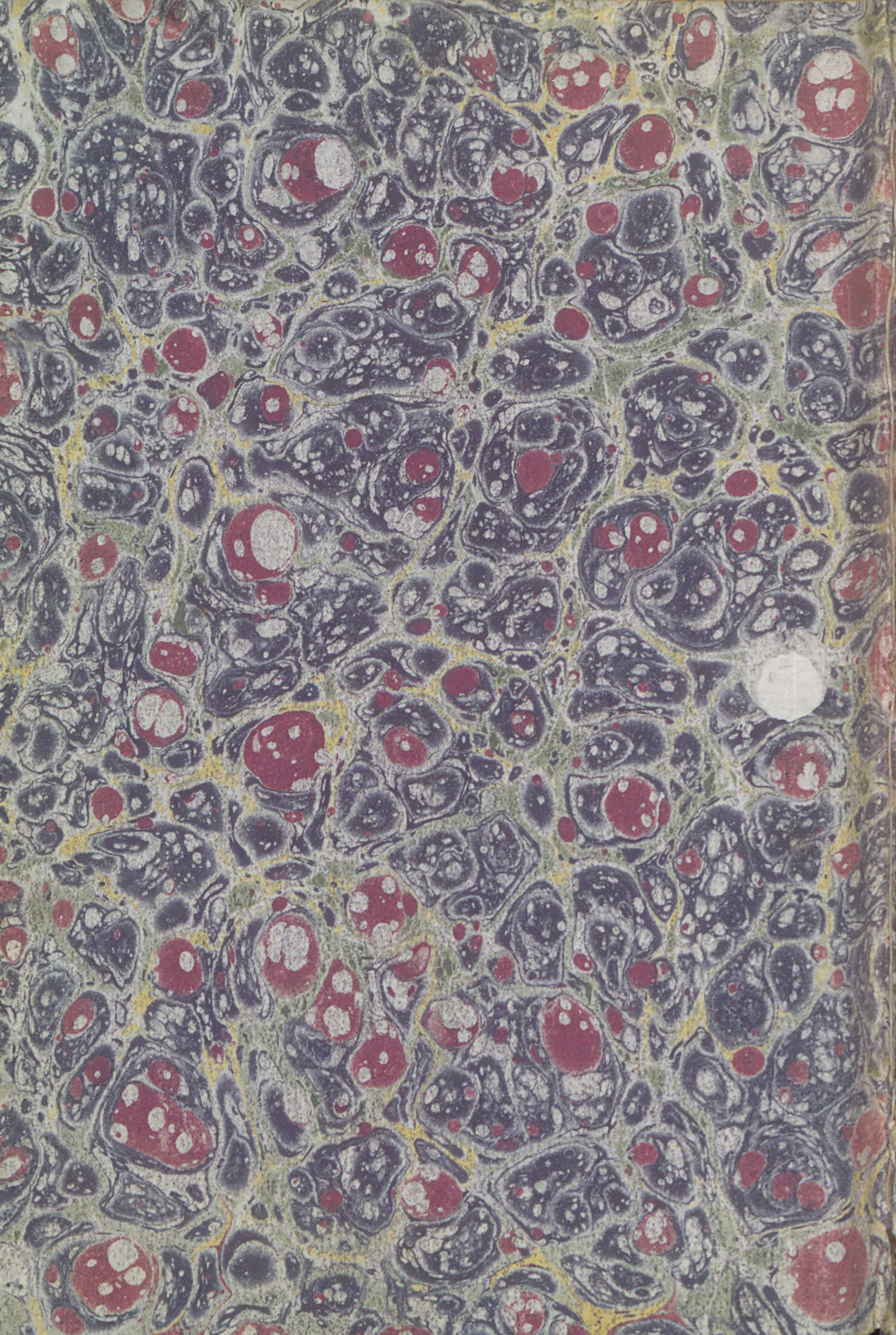
Impª Litogª de D. A. Brusi. Barª

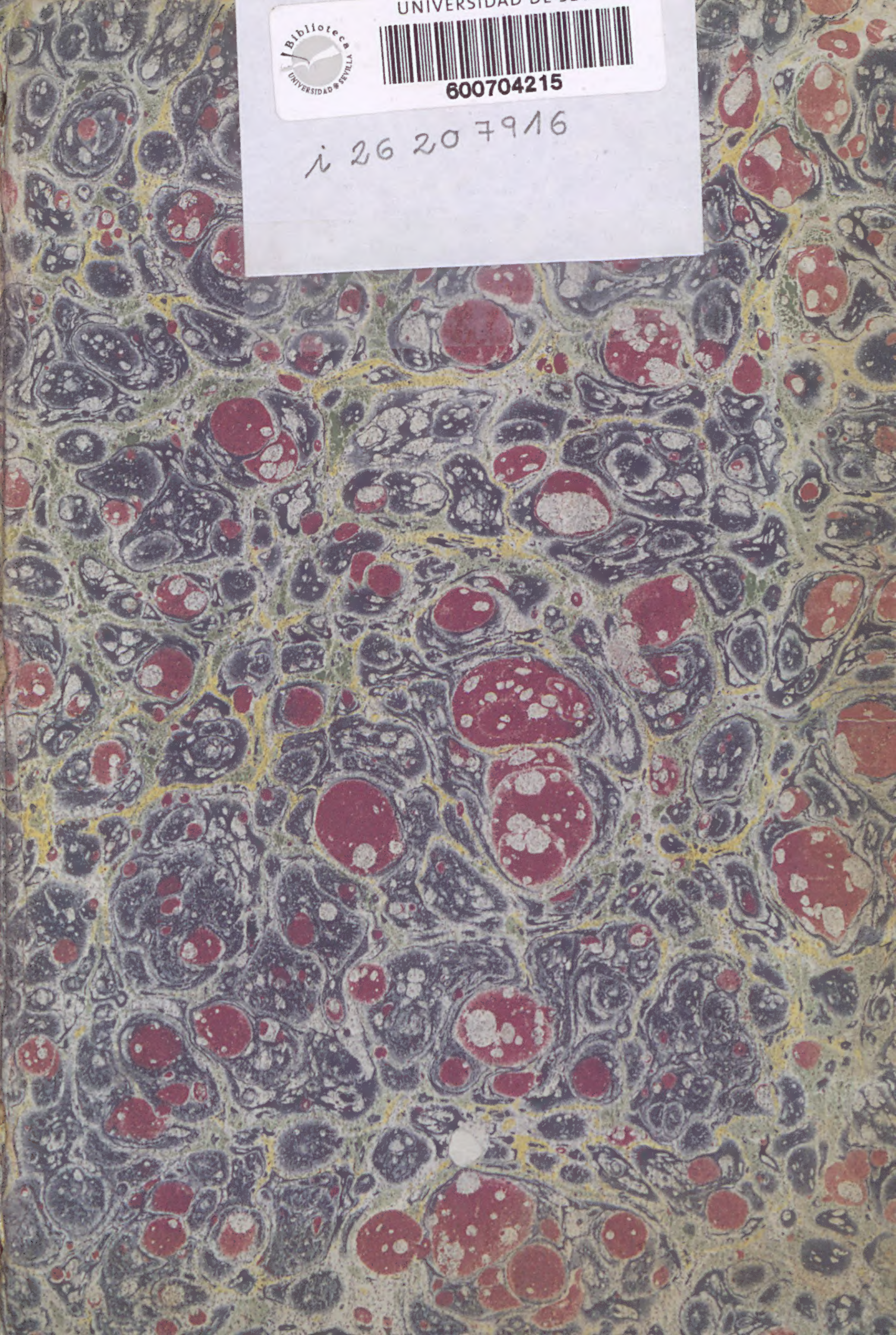

Fig. 7
Fig. 1
Fig. 9
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 8
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6











UNIVERSIDAD DE SE
Biblioteca
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
600704215
i 26 20 79/6





colorchecker CLASSIC
calibrite
mm